

EDUARDO DE ARAÚJO SIQUEIRA

**ESTUDO DE PERDAS POR SUBMEDIÇÃO DE
HIDRÔMETROS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA DA CIDADE DE PIRENÓPOLIS-GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO
DA SILVA**

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

SIQUEIRA, EDUARDO DE ARAÚJO

Estudo de perdas por submedição de hidrômetros no sistema de abastecimento de água da Cidade de Pirenópolis-GO.

81P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| 1. Perdas de Água | 2. Submedição |
| 3. Perdas Aparentes | 4. Micromedição |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10 ^o) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SIQUEIRA, Eduardo de Araújo. Estudo de perdas por submedição de hidrômetros no sistema de abastecimento de água da Cidade de Pirenópolis-GO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 81p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Eduardo de Araújo Siqueira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo de perdas por submedição de hidrômetros no sistema de abastecimento de água da Cidade de Pirenópolis-GO.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Eduardo de Araújo Siqueira

Eduardo de Araújo Siqueira
eduardosiqueira@saneago.com.br

EDUARDO DE ARAÚJO SIQUEIRA

**ESTUDO DE PERDAS POR SUBMEDIÇÃO DE
HIDRÔMETROS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA DA CIDADE DE PIRENÓPOLIS-GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**

**KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTO GOMES, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**HAYDÉE LISBÔA VIEIRA MACHADO, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 09 de JUNHO de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível. Agradeço pela coragem e fé dada, e por ser O motivo pelo qual nunca me deixei abater com os problemas do dia-a-dia, procurando sempre mais forças para continuar.

Agradeço também a todo corpo técnico da SANEAGO, em especial ao Eng^o Diego, Supervisor da P-SMM, que ofereceu todo suporte necessário para que esse trabalho fosse concluído com êxito.

Agradeço também ao meu orientador Professor, MSc Agnaldo Antonio, pela dedicação disposição e paciência e para que fosse possível essa conquista.

Agradeço também à toda minha família, em especial minha esposa, Tathiany e meu filho Luiz Otávio, que nesses dias de luta estiveram sempre do meu lado me apoiando e dando forças para que pudéssemos alcançar essa tão sonhada conquista.

Eduardo de Araújo Siqueira

RESUMO

Perdas de água são comuns a todo sistema de abastecimento, elas representam uma parcela do volume de água que foi disponibilizado, porém, não contabilizado pela operadora. Uma das maiores dificuldades do processo de operação das empresas de saneamento é a quantificação precisa das perdas, o rateio delas está atrelado a estimativas. As perdas por submedição ocorrem de forma que, o consumo é realizado pelo cliente, porém, não é indicado no medidor isso pode acontecer por diversos fatores, entre os mais importantes estão o uso de caixas d'água com válvula tipo bóia, que amortece a vazão efetivamente utilizada pelo consumidor essas vazões geralmente ficam abaixo das vazões mínimas toleráveis pelos medidores mais utilizados pelas empresas de saneamento e outros fatores como dimensionamento incorreto, inclinação lateral, tempo de instalação, volume medido dos hidrômetros também podem influenciar na problemática de erros por submedição.

Neste trabalho buscou-se encontrar valores mais confiáveis para perdas por submedição no sistema de abastecimento de água da cidade de Pirenópolis, visando quantificar com mais precisão os valores das perdas aparentes. Para isso, foram realizados testes em bancada em uma amostra de quarenta e oito hidrômetros substituídos da cidade e transportados para o laboratório de hidrometria da SANEAGO em Goiânia, onde foram realizados testes de vazão conforme ABNT NBR 15538:2007. Levou-se em consideração para a elaboração da curva de erro dos hidrômetros o perfil de consumo de cada imóvel, se o domicílio utiliza instalação direta, mista ou indireta (existência de caixa d'água), inclinação lateral, tempo de instalação, volume medido pelo hidrômetro, além da pressão na rede. Esses fatores possibilitaram uma melhor análise dos volumes perdidos por submedição, evidenciando a importância que a perda por submedição tem na contribuição do total de perdas do sistema de abastecimento de água de Pirenópolis. A apuração mais precisa dos dados, com uma distribuição que confira uma maior confiabilidade para a composição das componentes das perdas reais e aparentes oferecem maior apoio para tomadas de decisões de intervenções mais assertivas para melhoria do sistema.

PALAVRAS-CHAVE:

Perdas de Água. Submedição. Perdas Aparentes. Micromedição.

ABSTRACT

Water losses are common to every supply system, they represent a portion of the water volume that was made available, but not accounted for by the operator. One of the major difficulties in the process of operating the sanitation companies is the precise quantification of losses, the apportionment of which is linked to estimates. The losses by sub-measurement occur in a way that, the consumption is carried out by the customer, however, it is not indicated in the meter, this can happen by several factors, among the most important are the use of water boxes with buoy valve, the flow actually used by the consumer, these flows are usually below the minimum flows tolerable by the meters most used by sanitation companies and other factors such as incorrect sizing, lateral slope, installation time, measured volume of water meters can also influence the problem of errors by submeditation.

This work aimed to find more reliable values for losses by sub-measurement in the water supply system of the city of Pirenópolis, in order to quantify more accurately the values of apparent losses. For that, bench tests were performed in a sample of forty eight water meters substituted in the city and transported to the hydrometry laboratory of SANEAGO in Goiânia, where flow tests were performed according to ABNT NBR 15538: 2007. The consumption profile of each property was considered for the calculation of the error curve of the hydrometers, if the household uses direct, mixed or indirect installation (existence of a water tank), lateral inclination, installation time, measured volume by the hydrometer, in addition to the pressure in the network. These factors enabled a better analysis of the volumes lost by sub-metering, evidencing the importance that the sub-measure loss has on the contribution of the total losses of the Pirenópolis water supply system. More accurate data collection, with a more trustworthy distribution for the composition of actual and apparent loss components, provides more support for decision making from more assertive interventions to improve the system.

KEYWORDS:

Loss of water. Submeditation. Apparent Losses. Micromediation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índice de perdas no faturamento	19
Figura 2 - Representação de perdas espaciais na distribuição.....	20
Figura 3 - Esquema geral de gerenciamento de perdas físicas	22
Figura 4 - Esquema geral de gerenciamento de perdas aparentes	24
Figura 5 - Crescimento natural das perdas e os desafios para o combate	25
Figura 6 - Matriz do balanço hídrico IWA	30
Figura 7 - Setorização clássica em rede de distribuição de água.....	32
Figura 8 - Índice de hidrometração.....	32
Figura 9 - Modelo de turbina do hidômetro monojato.	34
Figura 10 - Hidrômetro multijato.	35
Figura 11 - Modelo de turbina do hidrômetro multijato.....	35
Figura 12 - Curva característica do hidrômetro.....	39
Figura 13 - Vazões permanentes Q3.....	41
Figura 14 - Relação Q3/Q1.....	41
Figura 15 - Classes metrológicas A, B, C, D ($Q_n < 15$).....	42
Figura 16 - Perfis de consumo para diferentes tipos de abastecimento.....	44
Figura 17 - Comportamento das vazões com abastecimento direto e com caixas d'água	45
Figura 18 - Comportamento das vazões em abastecimento com caixa d'água, abastecimento misto e sem caixa d'água	46
Figura 19 - Hidrômetro na posição normal e inclinada.....	48
Figura 20 - Imagem aérea de Pirenópolis acesso local.....	50
Figura 21 – Imagem aérea de Pirenópolis unidades da SANEAGO local	50
Figura 22 - Ligações com e sem reservatórios domiciliares de Pirenópolis	51
Figura 23 - Distribuição do consumo por faixa de volume mensal medido.....	52
Figura 24 – Hidrômetros capacidade 0,75 e 1,5 m ³ /h consumo até 10 m ³ /mês.....	53
Figura 25 - Relação de hidrômetros por idade e capacidade da cidade de Pirenópolis.....	54
Figura 26 - Relação de capacidade de hidrômetros por faixa de consumo até 10 m ³ /mês.....	56
Figura 27 - Relação de capacidade de hidrômetros por faixa de consumo 11 a 20 m ³ /mês.....	56
Figura 28 - Bancada gravimétrica de teste de vazão	57
Figura 29 - Hidrômetro Volumétrico teste de vazão classe C instalado	59
Figura 30 - Dados de aquisição de vazão casa 3	60
Figura 31 - Dados de aquisição de vazão casa 1	60

Figura 32 - Sensor acoplado ao hidrômetro e registrador de dados	61
Figura 33 - Gráfico de consumo casa 1 hidrômetro Qn 1,5 m ³ /h	62
Figura 34 - Dados de aquisição casa 1 hidrômetro Qn 1,5 m ³ /h	63
Figura 35 - Gráfico de consumo casa 2 hidrômetros Qn 1,5 m ³ /h	64
Figura 36 - Gráfico de consumo casa 2, hidrômetro Qn 2,5 m ³ /h	65
Figura 37 - Dados de aquisição casa 1 hidrômetro Qn 1,5 m ³ /h	66
Figura 38 - Medição de inclinação Lateral de Hidrômetros	68
Figura 39 - IDM por faixa de volume registrado	70
Figura 40 - Gráfico das seis primeiras vazões aplicadas no teste de vazão.....	72
Figura 41 – Coleta de dados inclinação lateral.....	73
Figura 42 - Gráfico de vazão casa 1 com exclusão de tempo sem consumo.....	74

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classes de hidrômetros e correspondentes valores de Q_{min} e Q_t	38
Tabela 2 - Vazões de calibração exigidas na portaria 256/2000	39
Tabela 3 - Vazões de calibração exigidas na NBR 15538:2007.....	40
Tabela 4 - Perda de exatidão por medidores domésticos em inclinação	47
Tabela 5 – Teste de vazão casas 1, 2 e 3	75

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AWWA	Associação Americana das Águas
ETA	Estação de Tratamento de Água
IDM	Índice de Desempenho de Medição
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IWA	Associação Internacional da Água
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
NM	Norma Mercosul
ONU	Organização das Nações Unidas
PNCDA	Plano Nacional de Controle ao Desperdício de Água
P-SMM	Supervisão de Micromedição da SANEAGO
Q	Vazão
Q _n	Vazão nominal
Q _{min}	Vazão mínima
Q _{max}	Vazão máxima
Q _t	Vazão de transição
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEAGO	Saneamento de Goiás S.A.
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
WLCC	Comitê de Controle de Perda de Água

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 METODOLOGIA	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 PERDAS	18
2.1.1 Conceituação	18
2.1.2 Componentes das Perdas	21
2.1.2.1 Perdas Reais	21
2.1.2.2 Perdas Aparentes.....	23
2.2 BALANÇO HÍDRICO IWA.....	25
2.2.1 Conceituação	25
2.2.2 Componentes do Balanço Hídrico.....	28
2.2.2.1 Água que entra no sistema	28
2.2.2.2 Consumo autorizado	28
2.2.2.3 Perdas de Água	28
2.2.2.4 Consumo Autorizado Faturado	28
2.2.2.5 Consumo Autorizado e Não-faturado	28
2.2.2.6 Perdas Aparentes (comerciais).....	29
2.2.2.7 Perdas Reais (físicas)	29
2.2.2.8 Águas Faturadas	29
2.3 MICROMEDIÇÃO	30
2.3.1 Tipos de Medidores	33
2.3.1.1 Medidores Velocimétricos	33
2.3.1.1.1 Tipo Monojato.....	34
2.3.1.1.2 Tipo Multijato	34
2.3.1.2 Medidores Volumétricos.....	35
2.4 ERROS DE MEDIÇÃO	36
2.4.1 Interferência do uso de reservatórios domiciliares na micromedição.	43
2.4.2 Interferência da inclinação de hidrômetros na micromedição.....	47

3 ESTUDO DE CASO	49
3.1 CARACTERÍSTICAS DA LOCALIDADE ESTUDADA	50
3.2.2 Obtenção de dados de vazão de consumo de três clientes.	58
3.2.3 Estudo de interferência da inclinação lateral dos hidrômetros na medição.	67
4 RESULTADOS	69
4.1 TESTE DE VAZÃO	69
4.2 INCLINAÇÃO LATERAL.....	73
4.3 TESTE DE VAZÃO TRÊS CASAS.....	73
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	76

REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

O homem desde o início, convive com as condições naturais do planeta, tanto no seu uso como na sua sobrevivência. Mesmo não conhecendo a origem da água e o funcionamento dos fenômenos naturais, as civilizações antigas puderam explorar os recursos hídricos através dos projetos de irrigação como os do Egito e Mesopotâmia, aquedutos para abastecimento de água romanos e irrigação e controle de inundação pelos chineses (TUCCI, 2007).

A qualidade e a quantidade das águas doces dos continentes no planeta sempre foram essenciais para os ciclos de vida, a sobrevivência da espécie humana e a biodiversidade dos organismos. Qualidade adequada e quantidade de água disponível são fundamentais para as atividades econômicas regional, continental e mundial; água de boa qualidade (isto é, sem contaminantes ou organismos que podem parasitar o homem e outros organismos) é essencial para manter a saúde humana, a sustentabilidade e também a qualidade de vida de populações rurais e urbanas (TUNDISI, 2006).

Degradação das nascentes, desmatamento das florestas e matas ciliares (e por consequência, assoreamentos), poluição de lençóis freáticos, rios, lagos e mares, isso aliado ao uso inadvertido da água, torna o acesso a esse bem extremamente precioso um problema ainda mais complexo.

O problema das perdas de água é tratado em nível mundial, gerando indicativos de performance abaixo do desejável à grande maioria dos sistemas, no entanto, em alguns países ou cidades, com conhecimento, planejamento, gestão e recursos, conseguiram melhorar seus indicativos e manter níveis de perdas nos seus sistemas em patamares mais baixos (TARDELLI FILHO, 2015).

Um estudo encomendado pelo movimento Menos Perda, Mais Água, da Rede Brasil do Pacto Global da ONU (2018), revela que no setor de saneamento básico, as perdas de água na distribuição causaram um prejuízo no faturamento de aproximadamente 10,5 bilhões de reais em 2016 no Brasil.

Para Oliveira, Scazufca e Pires (2018), o cálculo do volume perdido em um sistema de abastecimento de água é fundamental para a análise da eficiência das atividades de distribuição e atividades comerciais de uma empresa de saneamento. O estudo da real situação das perdas no sistema deve ser desenvolvido tendo como orientação os relatórios de índice de perdas. Alto nível de perdas com crescimento gradual requer da companhia, investigação de possíveis falhas

no processo, o que exige esforços mais pontuais no que diz respeito a planejamento, direcionamento dos investimentos, manutenção e atividades operacionais e comerciais.

Para que um sistema possa ser avaliado em relação às perdas, se faz necessário buscar a obtenção de dados confiáveis, com números mais próximos possíveis da realidade, uma vez que essas informações poderão ser usadas como ferramentas de tomadas de decisões, possibilitando execução de intervenções mais acertadas a fim de buscar melhorias no sistema.

O sistema nacional de informações sobre saneamento SNIS (2018) realiza a coleta de dados referentes aos serviços de água e esgoto das empresas de saneamento de todas as regiões do país anualmente, possibilitando comparação entre sistemas e, com isso, a competição entre as companhias por melhores resultados. No entanto, os dados que alimentam o SNIS, são fornecidos pelos próprios operadores do sistema, não havendo padronização na forma de obtenção dos dados, possibilitando tendência à diminuição da precisão das informações.

De acordo com Tardelli Filho (2006), perdas no sistema de abastecimento de água são divididas em dois tipos, as perdas físicas e não-físicas. As perdas físicas, equivale à quantidade de água produzida, porém, que não chega ao cliente final, esse volume é perdido em vazamentos nas adutoras e rede de distribuição e, em vazamentos e extravasamentos em reservatórios entre outros.

Arregui (2006), define esse tipo de perda como Perda Real, e as perdas não-físicas, que são constituídas de volumes consumidos, porém não convertido em receita para a empresa de saneamento, ocasionados por erros no cadastro comercial, fraudes, por erros na micro e macromedição, dentre outros, são conhecidas como Perda Aparente, podendo também ser chamada de Perda Comercial.

A redução de perdas aparentes, significa mais saúde financeira para a empresa de saneamento, entretanto, para se ter um valor preciso dessas perdas é necessário que seja realizado ensaios de hidrômetros em bancadas conforme normas vigentes considerando a ligação domiciliar com caixa d'água (maior submedição), estudos cadastrais também se fazem necessários para que as perdas por irregularidades sejam estimadas. Dessa forma, o presente estudo visa demonstrar em conjunto com a Empresa de Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO), valores referentes a perdas por submedição em micromedidores no sistema de abastecimento de água da cidade de Pirenópolis, possibilitando assim, mensurar as perdas aparentes com mais precisão, o que confere mais confiabilidade para execução de intervenções visando a melhoria do atendimento com água em quantidade e qualidade para os clientes da companhia.

1.1 JUSTIFICATIVA

O saneamento básico no Brasil, assegurado pela constituição Federal através da Lei 11.445 (BRASIL, 2007), garante a universalização do acesso ao saneamento básico. A população brasileira em 2018 é de 208,8 milhões de habitantes. Desse total, 34,8 milhões de pessoas não tem acesso à água tratada, o que representa 16,7% da população, e 100,2 milhões de pessoas não tem acesso a coleta de esgoto, o que representa 48,1% da população. A carência de abastecimento de água e tratamento e coleta de esgoto são um dos fatores que deixam o Brasil em atraso no índice de desenvolvimento humano (IBGE, 2018).

Buscar a racionalização do uso da água através da busca por eficiência nos sistemas de abastecimento, se tornou nos últimos anos, uma obrigação. É de suma importância que as autoridades políticas e sociais responsáveis pelo fomento ao saneamento, desenvolvam mecanismos para implementação de políticas públicas que dê mais atenção para o uso sustentável de nossos recursos hídricos.

As empresas de abastecimento de água enfrentam numerosos desafios no fornecimento de água potável para uso humano e consumo. Ao melhorar a eficiência na recuperação de volumes perdidos e receitas, as concessionárias podem melhorar o serviço para atender melhor seus clientes, melhorar a situação financeira de uma concessionária e estar mais bem posicionada para fazer atualizações vitais para a vasta e envelhecida infraestrutura hídrica dos sistemas de distribuição (AWWA, 2016).

Diminuir perdas é uma tarefa árdua e constante, mas compensatória, uma vez que, no cenário de crise hídrica que vivemos atualmente, buscar baixar esses índices pode ser uma das melhores alternativas para amenizar problemas relacionados ao desabastecimento de água de forma econômica.

No entanto, para que se possa ter dados precisos sobre as perdas no sistema de abastecimento de água, se faz necessários à utilização de mecanismos de controle de medidas e ensaios, visando minimizar erros e assim determinar os parâmetros inerentes às perdas, que se subdivide em perdas aparentes e reais e são contempladas no balanço hídrico da Associação Internacional da Água (IWA).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa teve como objetivo geral a busca de dados através de coleta de amostra do parque de hidrômetros para encontrar percentual de perdas por submedição do sistema de abastecimento de água da cidade de Pirenópolis-GO, utilizando procedimentos e valendo-se de normas vigentes para realização de ensaios de aferição de hidrômetros.

1.2.2 Objetivos específicos

Realizar ensaios hidráulicos para detectar possíveis erros por submedição de micromedidores retirados em conjunto com a SANEAGO, considerando o uso predominante de caixas d'água pelos consumidores do sistema de abastecimento da cidade de Pirenópolis.

Realizar teste comparativo de vazão entre hidrômetros da saneago e hidrometros volumétricos para análise de vazão.

Realizar comparativos gráficos de submedição em relação à vida útil, volume registrado, marca, capacidade e inclinação lateral dos hidrômetros retirados para análise.

1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho teve sua metodologia fundamentada em pesquisa exploratória, considerando fontes bibliográficas primárias, onde foram executados trocas de uma amostragem de hidrômetros da cidade de Pirenópolis para realização ensaios de aferição de hidrômetros fundamentadas em normas técnicas vigentes, e também fundamentada em bibliografia secundária, onde foram consultados diversos autores para abordagem de assuntos como; Balanço Hídrico com Tardelli Filho (2016), Perdas de Água com Oliveira *et al.*, (2018), Conceito de Perdas com Lambert (2000), entre outros. Os dados coletados nos ensaios e em campo serviram de base para elaboração de planilhas, quadros, tabelas e gráficos para análises tanto quantitativas, como qualitativas. A pesquisa foi executada na cidade de Pirenópolis visando encontrar valores mais precisos de erros por submedição no parque de hidrômetros considerando as normas vigentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados o embasamento teórico e as referências bibliográficas dos temas de maior relevância para esse trabalho.

Diante disso, são tratados: conceituação e as componentes das perdas de água; apresentação e análise do método do balanço hídrico IWA, com suas componentes e a disposição de cada uma delas no mesmo; fundamentos da micromedição, contemplando estudos sobre tipos e características; e, estudos sobre erros na medição em sistema de abastecimento de água, levando-se em consideração análise do uso de reservatórios domiciliares e instalação de hidrômetros com inclinação lateral.

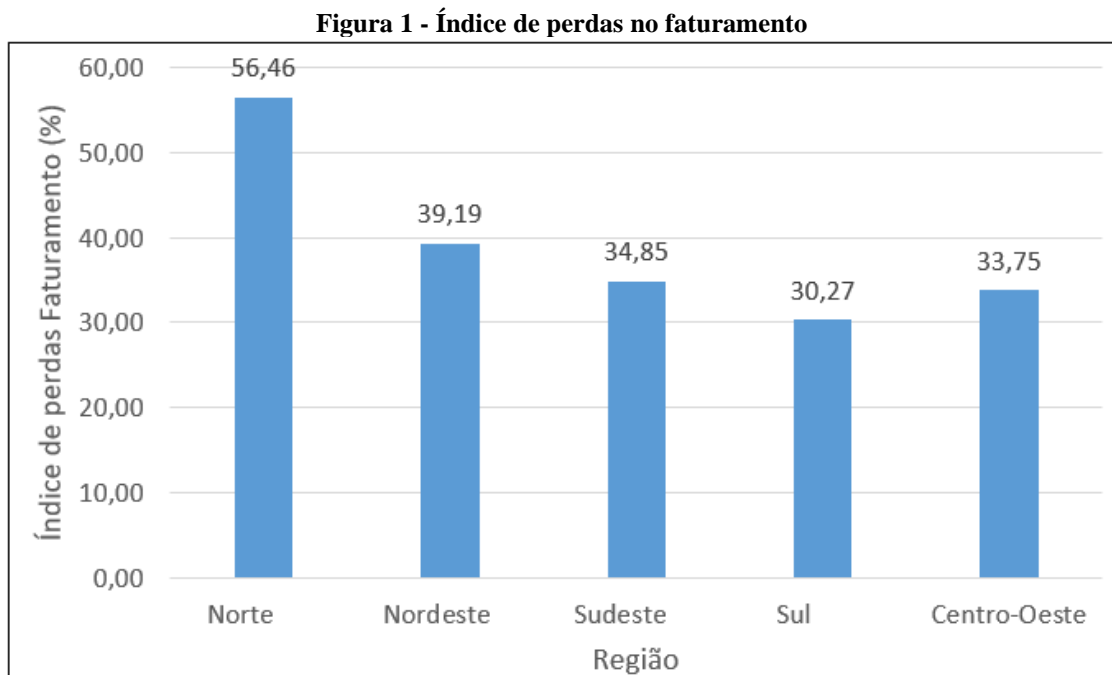
2.1 PERDAS

2.1.1 Conceituação

O primeiro pensamento que temos é o de que “perda” é toda água que foi produzida, ou seja, captada tratada, reservada e distribuída, sendo que parte dela se perdeu no caminho entre essas etapas e não foi entregue aos clientes. Porém, esse pensamento, considera a perda como sendo algo físico, uma quantidade de água perdida em um vazamento, por exemplo. Mas o conceito de perdas vai bem mais adiante. Sob o ponto de vista empresarial, se uma mercadoria for entregue, e por alguma falha, não for faturada, tem-se uma quantidade de mercadoria onde foram incorporados todos os custos intrínsecos de produção industrial e de transporte, mas que não contribuiu como receita para a empresa, ou seja, prejuízo, considerado como perda também, porém, com conotação diferente em relação ao caso anterior, tendo mais ligação ao aspecto comercial do que com a prestação do serviço (TSUTIYA, 2006).

Quando se fala em perdas de água, é comum imaginar que ela seja tão somente a água que escorre pelas ruas devido vazamentos nas tubulações. Se fosse apenas isso, seria relativamente simples combater perdas. Há também vazamentos que não afloram na superfície das vias públicas e também outros fatores não relacionados com vazamentos e fazem parte das perdas: as fraudes, submedição ou erros nos macromedidores e hidrômetros; onde, conseqüentemente há o consumo de água, mas ela não entra como receita para a empresa de saneamento (TARDELLI FILHO, 2016).

O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, elaborado pelo SNIS (2018), propõe que as perdas se caracterizam como ineficiências técnicas, são comuns a qualquer sistema de abastecimento de água. É um assunto sempre atual tendo que se levar em conta à escassez hídrica e aos altos custos de energia elétrica, além da sua associação com a saúde financeira das operadoras. O Gráfico da figura 1, demonstra o índice de perdas no faturamento por região do País em 2016.



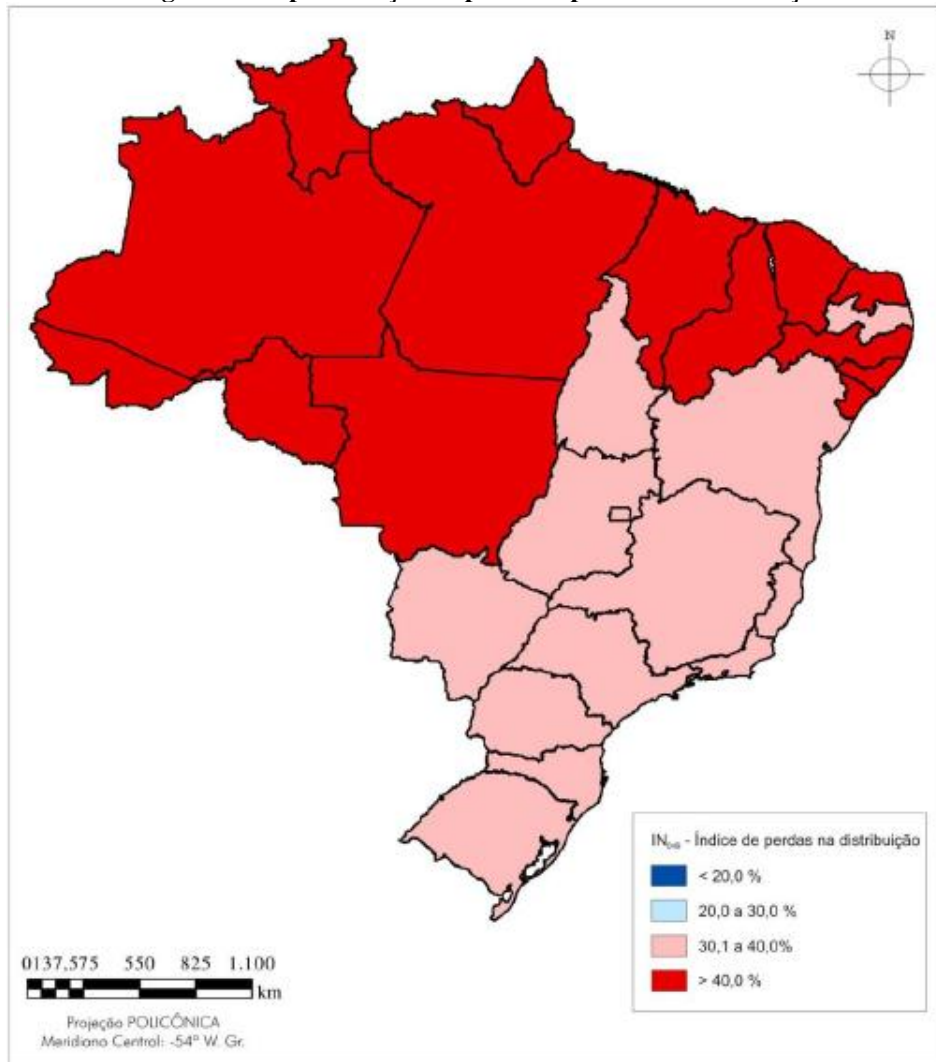
Fonte: SNIS, 2018.

O SNIS (2018) divulgou dados referentes às perdas na distribuição em 2016 de todas as regiões do país. Na região Norte foi registrado uma média de 47,3%, e maiores perdas dessa região ocorreram no Estado do Amazonas com índice de 70,5%, que também é a maior do país; na região Nordeste foi registrado uma média de 46,3%, no Sul a média ficou em 36,3%, no Centro-Oeste, a média ficou em 35,0%, e no Sudeste a média foi de 34,7%, o estado com menor índice de perdas dessa região foi o Rio de Janeiro com 31,4%. A figura 2 demonstra representação espacial do índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2016, distribuído por faixas percentuais, segundo estado.

Para Miranda (2007), um dos motivos desses altos índices se dá pelo não planejamento e interação entre os vários setores estratégicos da Operadora do Sistema de Saneamento. As perdas devem ser consideradas desde a etapa de concepção do projeto de implantação ou ampliação, não sendo tratado apenas na operação e manutenção. O problema também se estende

à área de recursos humanos, de planejamento, de controle financeiro, de contabilidade, de educação e cultura, de mobilização social, não sendo apenas um problema de engenharia.

Figura 2 - Representação de perdas espaciais na distribuição



Fonte: SNIS, 2018.

Para Aquino (2007), as perdas de água (diferença entre os volumes produzidos ou entregues aos sistemas e os volumes consumidos de forma autorizada) ocorrem em todos os sistemas de abastecimento e refletem a eficiência operacional e as condições da infraestrutura. Classificam-se em perdas reais (físicas), quando a água é perdida antes de chegar aos consumidores, principalmente devido a vazamentos nos diversos componentes dos sistemas de abastecimento, e em perdas aparentes (comerciais), quando a água é consumida de forma “não-autorizada”, principalmente devido à submedição causada pela imprecisão nos hidrômetros dos clientes, irregularidades (fraudes) e furto de água em hidrantes. As proporções entre esses dois

tipos de perdas e suas causas variam de sistema para sistema, exigindo ensaios de campo e a adoção de várias hipóteses para se chegar a uma partição entre os dois tipos de perdas.

2.1.2 Componentes das Perdas

No que diz respeito ao conceito de perdas, teoricamente, elas são divididas em perdas reais e perdas aparentes. Essa diferenciação é de grande importância uma vez que as ferramentas para a atuação no combate de cada uma delas são diferentes.

2.1.2.1 Perdas Reais

Para Tardelli Filho e Tsutyia (2006), as perdas reais, também conhecidas por perdas físicas, se baseia em toda água disponibilizada para distribuição que não chega aos clientes. Essas perdas ocorrem por incidência de vazamentos em adutoras, redes, ramais, conexões, reservatórios e em outras unidades do sistema. Elas englobam principalmente os vazamentos em tubulações da rede de distribuição, provocados especialmente pela alta pressão, que ocorre mais comumente em regiões grande diferença de altimetria. Os vazamentos também estão relacionados à qualidade dos materiais utilizados, à idade das tubulações, à qualidade da mão-de-obra e à ausência de programas de acompanhamento das perdas, além de outros fatores. Não devem ser considerados como perdas a utilização de água para processos rotineiros da operação, como lavagem de filtros da Estação de Tratamento de Água (ETA) e descargas na rede, quando este consumo é utilizado de forma que seja apenas utilizado somente o necessário para operação.

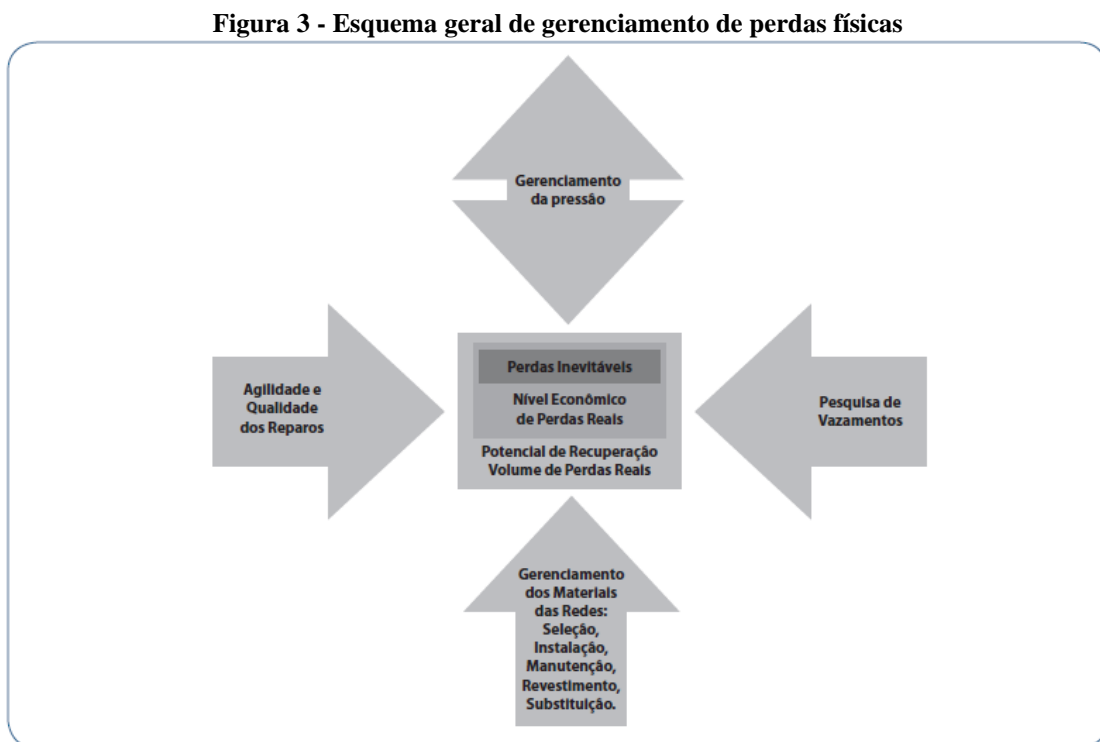
Para a AWWA (2009) as perdas reais incluem a água que foi extraída de uma fonte de recursos hídricos, tratada e transportada a uma unidade à outra sendo perdida do sistema de distribuição. Devido essas quantidades de perdas ocorridas no fornecimento de água aos clientes, as perdas reais efetivamente impõem a maior captação, tratamento, despesas de distribuição e manutenção da empresa de saneamento, e / ou o excesso encargos na compra de água importada.

Para Yoshimoto, Tardelli Filho e Sarzedas (1999), uma das soluções mais práticas para a redução de perdas físicas consiste na adoção de atividades complementares como:

- a) Gerenciamento de Pressão;
- b) Controle ativo de vazamentos;

- c) Velocidade e qualidade dos reparos; e
- d) Gerenciamento da infraestrutura.

A figura 3 demonstra que a dimensão do retângulo representa o volume de perdas físicas de um sistema de distribuição anualmente, e que está sendo mantido aquele volume pela combinação das quatro atividades mencionadas. Se houver a perda de controle sobre uma destas atividades, as dimensões do retângulo irão aumentar naquela direção. Inversamente, para ser reduzido o volume destas perdas, é necessário aumentar os esforços e o investimentos anual de uma ou mais atividades paralela ou sequencialmente buscando a redução das dimensões do retângulo (ALLAN LAMBERT *et al.*, 1998).



Fonte: ALLAN LAMBERT *et al.* (1998).

Thornton, Sturm e Kunkel (2002), propõe que seja realizada uma avaliação do volume das perdas reais e calculado o volume ótimo econômico dessas perdas para a concessionária de água. Após identificado a natureza e o valor das perdas reais, e quantificados os limites econômicos para redução dessas perdas, metas alcançáveis podem ser traçadas. Uma vez que as metas e orçamentos para intervenção foram executadas, deve-se dispor de metodologias técnicas para a realização das intervenções mais adequadas para o controle e redução das perdas reais.

2.1.2.2 Perdas Aparentes

Segundo Thornton, Sturm e Kunkel (2002), as perdas aparentes são causadas por imprecisões associadas à medição do cliente, erro de tratamento de dados de consumo e cobrança, suposições de uso não mensurado, e qualquer forma de consumo não autorizado (roubo ou uso ilegal). As perdas aparentes, que ocorrem no destino do cliente, penalizam o fornecedor de água, com uma taxa geralmente muito maior do que o custo de produção. As variáveis dos custos de produção frequentemente incluem apenas os custos de curto prazo, no entanto, neste caso, é adequado incluir os custos a longo prazo na avaliação das perdas aparentes e reais. Implicações de custo de perdas reais e aparentes exigem que uma avaliação cuidadosa de cada uma delas seja realizada para projetar o controle de perda de água mais apropriado e econômico para cada sistema.

Para Tsutiya (2006), as perdas aparentes que são mais conhecidas como perdas comerciais ou não físicas, estão associadas à quantidade de água que foi realmente consumido pelo usuário, porém, devido algum motivo, não foi devidamente ou contabilizada, ocasionando perda de faturamento à empresa de saneamento que opera o sistema. São problemas decorrentes de erros de medição (hidrômetros que não funcionam e com submedição, erros de leitura, fraudes, erros de calibração dos hidrômetros), ligações clandestinas, ligação direta nos ramais das ligações (os populares gatos), ineficiência no cadastramento comercial, inclinação lateral dos hidrômetros entre outros. Nesse contexto, portanto, a água é de fato consumida, mas não é faturada. As perdas aparentes estão intrinsicamente ligadas as perdas reais, de forma que, dependendo de sua análise, ela pode contribuir para aumentar ou diminuir as perdas reais, não obstante, a análise para a definição precisa de cada uma das perdas nos sistemas de distribuição é extremamente complexa, pois consistem em análises detalhadas da realidade de cada sistema e também depende da forma em que os dados são processados e tratados.

Conforme Arregui (2007), ensaios feitos com medidores residenciais Classe B, com tempos de instalação entre seis e oito anos, mostraram os seguintes valores percentuais de submedição (*apud*, COSTA, BÁGGIO & MACHADO, 2015):

- a) Sem caixas d'água domiciliares: -7%
- b) Com caixas d'água domiciliares: - 17%

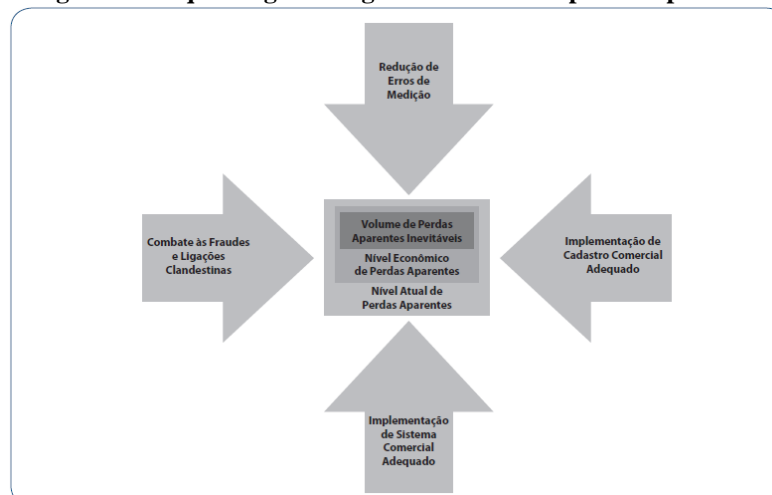
Segundo a AWWA (2016), todas as empresas de saneamento têm perdas de água, no entanto, elas variam de sistema para sistema. Infelizmente, a maioria das empresas de serviços de água não contabiliza (ou audita) esses dados para quantificar mais precisamente estas perdas,

não sendo possível identificar com confiabilidade os prejuízos que as perdas trazem para o sistema. Os impactos de custo, tais como as quantidades de perdas, geralmente não são informados aos seus clientes. Os clientes pagantes acabam por suportar o encargo financeiro de suas ineficiências, sem saber se as taxas de água são ou não definidas para cobrir todos os custos.

Tardelli Filho (2006), afirma que para que seja possível mensurar as perdas por irregularidades, fraudes, ligações clandestinas, ligação direta nos ramais das ligações entre outros, se faz necessário informações gerenciais confiáveis e atualizadas constantemente, permitindo assim, que seja estipulado valores médios referentes à essas perdas com base em ocorrências passadas registradas no sistema comercial da operadora. Já as perdas por submedição podem ser mensuradas através de testes em laboratórios de aferição de hidrômetros (ensaios de bancada), que busca aproximar o consumo do ensaio o mais perto possível do perfil de consumo do cliente final. O combate às perdas deve ocorrer de forma planejada e contínua, quanto maiores são as perdas em um sistema de abastecimento de água, maiores serão os resultados de ações tomadas para seu combate, conforme as perdas vão diminuindo, fica cada vez mais difícil atingir resultados expressivos.

A figura 4 demonstra o volume de perdas aparentes anualmente, que é representada por um retângulo, em que as atividades de controle como: redução de erros de medição; implementação de cadastro comercial; implementação do sistema comercial adequado; e, combate às fraudes e ligações clandestinas, são medidas contínuas que se bem aplicadas mantém e até pode reduzir o índice de perdas, por outro lado, se essas ações forem ignoradas o retângulo do volume de perdas crescerá aumentando estes índices (TARDELLI FILHO, 2006).

Figura 4 - Esquema geral de gerenciamento de perdas aparentes



Fonte: ALLAN LAMBERT *et al.* (1998).

Ainda assim, se faz necessário persistência, foco e inovação para que essas perdas não voltem a aumentar naturalmente, como demonstrado na figura 5.

Figura 5 - Crescimento natural das perdas e os desafios para o combate



Fonte: SABESP 2005.

Assim, com os dados de macro e micromedição, dados médios das perdas por irregularidades, e os dados de submedição, entre outras análises, por diferença encontra-se as perdas físicas com uma melhor precisão. É de suma importância encontrar valores precisos referentes a cada tipo de perdas, o que possibilita à operadora empreender ações direcionadas especificamente para cada uma delas, isso proporcionará às empresas de saneamento melhores resultados operacionais e financeiros, o que viabilizando investimentos em renovação e manutenção do sistema.

2.2 BALANÇO HÍDRICO IWA

2.2.1 Conceituação

Para Tsutiya e Tardelli (2006), o Balanço Hídrico de um sistema de abastecimento de água se demonstra como uma maneira de analisar os elementos dos caminhos e usos da água e seus valores relativos e absolutos. Uma poderosa ferramenta gerencial, dado que a possibilidade

de emissão de vários indicadores de desempenho para acompanhamento de medidas operacionais, empresariais e técnicas. Com a intenção de padronizar uma formulação básica do Balanço Hídrico a nível mundial, a IWA veio com a proposta de uma matriz onde são demonstradas as variáveis mais relevantes para compor o fluxo e usos da água. Essa matriz é representada a partir da “água que entra no sistema”, podendo ser a captação, ETA, algum reservatório, ou até mesmo uma derivação de uma adução, compondo assim uma formulação em função do sistema, ou parte dele, dependendo do que se deseja avaliar.

Em 2000, a IWA publicou o manual Performance de Indicadores para Serviços de Abastecimento de Água (ALEGRE *et al.*, 2000). Esta publicação inclui uma descrição de um método de Balanço Hídrico desenvolvido durante o período de 1997–2000 pela IWA Força Tarefa de Perdas de água (agora chamada de Grupo Especialista em Perda de Água), que na época era um grupo de cinco países que incluiu a participação da AWWA. Até então, existia uma multiplicidade de diferentes práticas de Balanço Hídrico no mundo, e o foco principal da força-tarefa era aproveitar as melhores práticas de várias abordagens e transformá-las em uma única metodologia padronizada para as melhores práticas de gerenciamento.

Segundo a AWWA (2016), o método precisava ser aplicável em todo o mundo, com uma padronização de diferentes características do sistema e unidades de medida. Muitas das características do melhor resultado e metodologia prática foram tiradas do manual original da AWWA M36, Water Audits e Leak Detection (Balanço Hídrico e Detecção de Vazamentos), publicado em 1990 e revisado em 1999. Pouco depois da publicação da força-tarefa sua nova metodologia, o Comitê de Controle de Perda de Água da AWWA (WLCC) expressou apoio ao método em seu relatório do comitê “Aplicando o Melhor Gerenciamento Mundial” “Practices in Water Loss Control” publicado na edição de agosto de 2003 do Journal AWWA. Em apoio a esta abordagem, o WLCC foi amplamente revisado e expandido manual M36 na criação da terceira edição (2009). Esta edição cuidadosamente detalhada. A Força-Tarefa para Perda de Água da IWA cresceu consideravelmente e foi elevada para se tornar a IWA Grupo Especialista em Perda de Água em 2011 (KUNKEL *et al.*, 2003).

Para Oliveira *et al.* (2018), na etapa de abastecimento de água por meio de redes de distribuição, fica passível de acontecer perdas da decorrência de variados fatores, tais como: vazamentos, erros de medição e consumos não autorizados. Essas perdas impactam negativamente para o meio ambiente, para a receita e para os custos de produção das companhias, aumentando os custos do sistema como um todo, e como consequência, afeta todos os consumidores. Assim, o nível de perdas de água constitui-se em um índice relevante para

medir a eficiência das operadoras em atividades como; distribuição, planejamento, investimentos e manutenção. Apesar de, que uma rede de distribuição sem perdas se trona inviável do ponto de vista técnico ou econômico, havendo assim um limite para a redução dos volumes de perdas.

Tsutyia e Tardelli Filho (2006) afirma que os métodos apresentados pela Força Tarefa da IWA para a Perda de Água, representam a atual modelo de “melhores práticas” para auditoria de água e medição de desempenho. Isso não é apenas por causa do processo de multinação usado na montagem dos resultados, mas principalmente porque o trabalho foi inovador no fornecimento de uma estrutura clara para uma necessidade que não tinha conhecimento na maior parte do mundo. Além disso, o trabalho foi testado minuciosamente usando dados de dezenas de países e desde a sua publicação diversos sistemas em todo o mundo adotaram com sucesso esses métodos como sua melhor prática para avaliar as perdas de água.

A AWWA (2009), em seu manual de práticas de abastecimento de água (M36), definiu o método mais preciso, porém mais trabalhoso e custoso, se dá por meio de medições das vazões mínimas noturnas em campo, com isso, aplicando-se correções de pressão e estimativas de consumo noturno, chega-se às Perdas Reais, e por diferença, obtém-se as Perdas Aparentes; ou também executar intensos trabalhos de avaliação de submedição do parque de hidrômetros, e após estimar o volume relativo às fraudes, chegar às Perdas Aparentes, e por diferença, às Perdas Reais. Essa forma de compor as parcelas das perdas denomina-se "Bottom-up" (de baixo para cima). Outra forma, chamada "Top-down" (de cima para baixo), é executar a distribuição das perdas a partir de estimativas genéricas, baseadas em dados secundários ou de outros sistemas, sendo assim, de mais fácil obtenção, de menor custo, porém, com baixa precisão.

Para o cálculo do Balanço Hídrico se faz necessário medições e/ou estimativas criteriosas em pontos específicos de controle definido no sistema. O tempo de obtenção de dados analisados no Balanço Hídrico em geral é anual, representando a média anualizada dos dados que compõe cada parte, sendo absorvidas as sazonalidades. A seguir serão demonstradas as definições dos dados que compõem o Balanço Hídrico, com fundamentos nas considerações da IWA (TSUTIYA & TARDELLI, 2006):

2.2.2 Componentes do Balanço Hídrico

2.2.2.1 Água que entra no sistema

Volume anualizado de água disponibilizado no sistema de abastecimento que é objetivo de cálculo do Balanço Hídrico podendo ser dependendo da necessidade a partir do volume de produção nas ETAs, ou pode ser apenas a partir de um ponto da rede de distribuição ou em uma área de influência de um reservatório, inclui-se também a água importada;

2.2.2.2 Consumo autorizado

Volume anualizado medido e/ou não-medido fornecido aos clientes cadastrados, à própria empresa de saneamento (usos operacionais e administrativos) e a outros que estejam implícitas ou explicitamente habilitados a fazê-lo, para usos residenciais, comerciais ou industriais, incluindo-se água exportada;

2.2.2.3 Perdas de Água

Volume referente à diferença entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado;

2.2.2.4 Consumo Autorizado Faturado

Volume convertido em receita para a empresa de saneamento, que corresponde à soma de todos os volumes faturados na micromedição dos clientes finais (medidos). Além dos volumes estimados em locais onde não tem hidrômetros instalados (não-medidos);

2.2.2.5 Consumo Autorizado e Não-faturado

Volume que não convertido em receita para a empresa de saneamento, advindos de usos permitidos de água no sistema de distribuição. É constituído de volumes medidos (uso da própria empresa de saneamento, caminhões-pipa com monitoramento do volume) e volumes

não-medidos, para lavar ruas, Corpo de Bombeiros, rega de áreas públicas e usos em atividades relacionadas à operação do sistema (tratamento de água, manutenção da qualidade, por exemplo);

2.2.2.6 Perdas Aparentes (comerciais)

Correspondente à água consumida, mas que não gera receita por não ser faturada, provenientes de fraudes, erros de medição e erros inerentes ao cadastro comercial da empresa de saneamento;

2.2.2.7 Perdas Reais (físicas)

Correspondente à água perdida por consequência de vazamentos visíveis e não-visíveis nas tubulações, vazamentos e extravasamentos em reservatórios;

2.2.2.8 Águas Faturadas

Representado pela parcela de água disponibilizada aos clientes, que gera receita à companhia de saneamento;

2.2.2.9 Águas Não-faturadas

Representado pela diferença entre os totais anualizados do volume de água que entra no sistema e do consumo autorizado faturado, incorporando a esses volumes as perdas aparentes e reais, além do consumo autorizado e não-faturado.

Para Alegre (2006), a Matriz do Balanço Hídrico pode ser classificado como o “ovo de Colombo” na contextualização do problema das perdas no sistema de abastecimento de água, sendo clara, objetiva e de fácil compreensão, conforme figura 6.

Figura 6 - Matriz do balanço hídrico IWA

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

Fonte: ABES, 2015 (adaptado).

2.3 MICROMEDIÇÃO

Para Mendonça (1975), a micromedição sempre foi usada desde a época da civilização romana, visando o combate ao desperdício de água e buscando atender o maior número possível de pessoas, na Alemanha e Inglaterra já se usava os hidrômetros em 1850, com uso de hidrômetros velocimétricos, enquanto os hidrômetros volumétricos eram utilizados na França e Bélgica.

O PNCDA (1999), do Ministério das Cidades, trata a micromedição de acordo com o consumo realizado no ponto de abastecimento de um usuário, independentemente da média de consumo ou categoria.

A micromedição é o conjunto de ações, que permite conhecimento sistemático do volume de água consumido em um sistema de abastecimento de água, garantindo que o mesmo seja o normal e esperado, dentro de padrões estabelecidos e ainda, comum sistema tarifário adequado, que a cobrança seja justa e equitativa pelos serviços prestados (LINUS, 1992).

Segundo NBR NM 212 (ABNT, 1999), medidores de água são instrumentos destinados a indicar e totalizar continuamente o volume da água que o atravessa.

O PNCDA (1999) propõe que, os sistemas de medição se constituem como uma ferramenta indispensável à operação de sistemas de distribuição de água. No que se refere às suas aplicações os sistemas de medição se constituem em instrumentos para a melhoria da eficiência da operação dos sistemas de abastecimento, possibilitando entender o sistema, seu comportamento e facilitando a identificação dos controles de parâmetros, tais como: vazão, pressão, volume, etc.

Silva e Male (1998) salienta que pelo fato da existência de sensíveis diferenças tanto nas causas e magnitudes das perdas, como no controle e em suas soluções, para diagnosticar mais facilmente as perdas e o melhor caminho para ações preventivas e corretivas, a subdivisão dos sistemas se torna muito relevante, a qual é um dos principais requisitos mínimos. A subdivisão se baseia em instalação de macromedição de vazão em pontos criteriosamente estudados, para que seja possível a análise de dados em relação aos volumes que foram registrados nos vários setores do sistema de abastecimento de água.

Geralmente os sistemas podem ser divididos nos seguintes subsistemas (GONÇALVES, 1998):

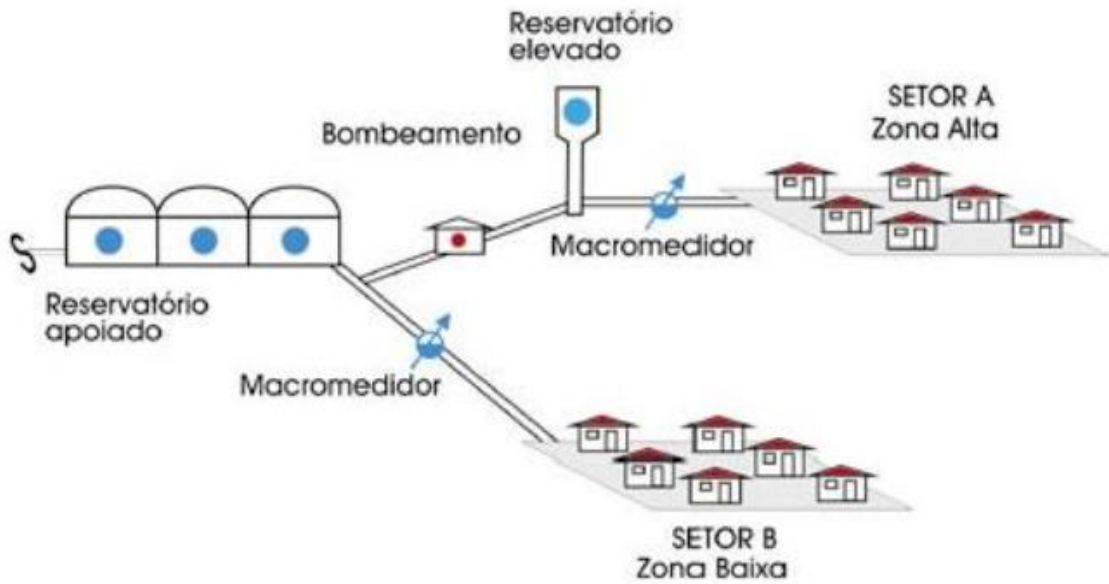
- a) Captação – local onde se capta a água;
- b) Adução água bruta – transporte da água bruta da captação até as (ETA);
- c) Tratamento – a estação de tratamento de água (ETA) propriamente dita;
- d) Reservatório – cisternas e reservatórios elevados;
- e) Adução água tratada – transporte da água tratada, instalações de recalque nas saídas da (ETA) e em alguns casos, reservatórios de regiões;
- f) Distribuição – redes de distribuição, elevatórias e boosters e ligações prediais.

A subdivisão do sistema e implementação de monitoração dos volumes medidos, por meio de macromedidores instalados nos vários pontos estratégicos, aliada ao uso de uma micromedição confiável, torna o diagnóstico mais preciso, fornecendo uma boa base de dados para a tomada de decisões no combate às perdas (BUTLER, 2000; MALE, 1985).

Além da subdivisão do sistema, da implantação de macromedição e de micromedição, também são requisitos básicos, a setorização, o cadastro comercial e o cadastro técnico (SILVA, 1998).

A figura 7 representa a subdivisão do sistema de abastecimento a partir dos reservatórios de água tratada.

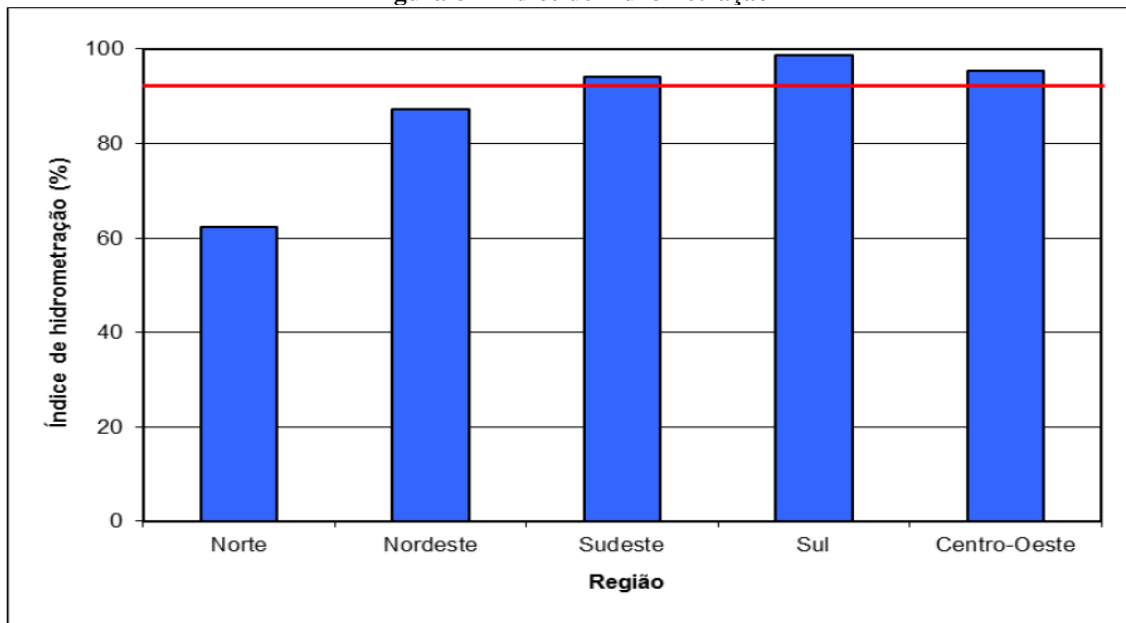
Figura 7 - Setorização clássica em rede de distribuição de água



Fonte: GONÇALVES & LIMA (2007).

Segundo o SNIS (2016), a região Sul do País apresenta maior valor médio de hidrometração, com 98,7%. Por outro lado, as regiões Nordeste (87,3%) e Norte (62,3%), essa última com valor bem inferior às demais regiões, com médias inferiores ao índice nacional, conforme demonstrado na figura 8.

Figura 8 - Índice de hidrometração



Fonte: SNIS (2016).

Leão *et al.* (2007) afirma que a micromedição é uma atividade indispensável para que haja o controle e redução das perdas aparentes, visto que, inibe o desperdício, é uma fonte de

dados importantes referente aos volumes entregues aos clientes, faz a cobrança do volume que foi efetivamente consumido, fornece dados referente ao comportamento de consumo do cliente no decorrer do tempo e permite maior acesso da população à distribuição de água.

Para o combate as perdas, se fazem necessárias de medidas integradas entre o sistema de micromedição, cadastro, sistema comercial, detecção de fraudes e faturamento e cobrança, porém, segundo Silva (1998), o mais difícil no controle de perdas em um sistema de abastecimento de água é a integração entre essas medidas.

2.3.1 Tipos de Medidores

O conhecimento de algumas definições, conceitos, concepções e características dos medidores pode auxiliar no desenvolvimento de ações preventivas e/ou corretivas para a melhoria da medição e por consequência no combate de perdas aparentes, por meio de fraude. Manter uma micromedição eficiente é relevante não apenas pelo aspecto técnico que permite medir o volume de água tratado, distribuído e faturado auxiliando o controle do processo, mas também para promover uma cobrança justa junto ao cliente (BOVO *et al.*, 2008).

Para Mendonça (1975), os hidrômetros são constituídos basicamente de três partes fundamentais: câmara de medição, seu movimento depende da quantidade de água que passa por ela; relojoaria ou registrador, onde se registra o consumo medido através da água que passa pela câmara; e o mecanismo que transmite o movimento produzido na câmara de medição para a relojoaria, estes mecanismos podem se mecânicos ou magnéticos.

Os hidrômetros podem ser do tipo velocimétrico ou taquimétrico e do tipo volumétrico. Essa características influenciam diretamente a precisão da medição, seu custo e vida útil (SILVA, 2008).

2.3.1.1 Medidores Velocimétricos

Segundo ABNT (2002) na sua NBR NM 212, os medidores taquimétricos ou velocimétricos é um “instrumento instalado num conduto fechado, que consiste em um elemento móvel acionado diretamente pela velocidade do fluxo da água, cujo movimento é transmitido por meios mecânicos ou outros ao dispositivo indicador que totalizam o volume”.

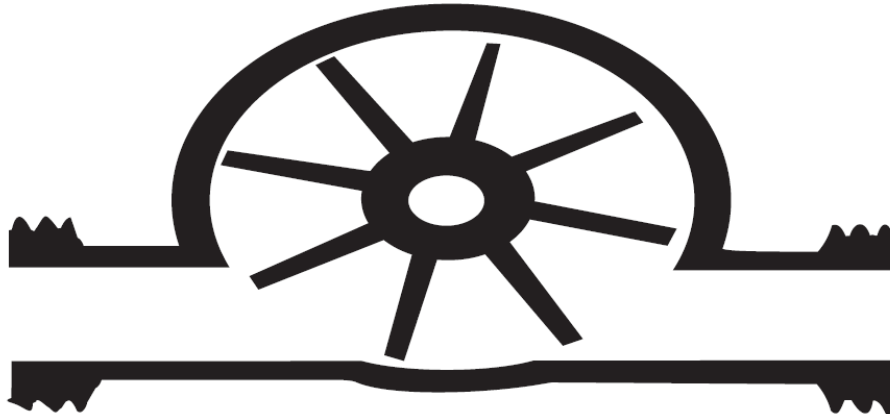
Para Bovo *et al* (2008), os principais hidrômetros velocimétricos são os monojato, que em função da sua concepção, de um modo geral, são mais sensíveis e sofrem mais com

variações de pressão e golpes, e os multijato, que são mais resistentes e duráveis por serem mais robustos, contudo, ambos atendem às mesmas exigências normativas.

2.3.1.1.1 Tipo Monojato

A ABNT (2002) define na NBR NM 212 que o medidor velocimétrico onde o mecanismo medidor é acionado pela incidência de um único jato tangencial de água sobre o componente móvel conforme figura 9. A parte móvel pode ser uma turbina, hélice ou palheta. Com a passagem da água o mecanismo móvel do medidor gira com velocidade proporcional à vazão e a frequência de voltas da relojoaria do medidor indica a velocidade do escoamento da água.

Figura 9 - Modelo de turbina do hidômetro monojato.



Fonte: BOVO *et al.* (2008).

2.3.1.1.2 Tipo Multijato

A ABNT (2002) através de sua NBR NM 212 define o medidor velocimétrico onde o mecanismo medidor é acionado pela incidência de vários jatos tangenciais de água sobre o componente móvel. A passagem da água faz girar o mecanismo móvel do medidor que geralmente é uma turbina com velocidade proporcional à vazão, e a frequência de voltas da relojoaria do medidor indica a velocidade do escoamento da água. A figura 10 demonstra a parte interna de um hidrômetro Multijato.

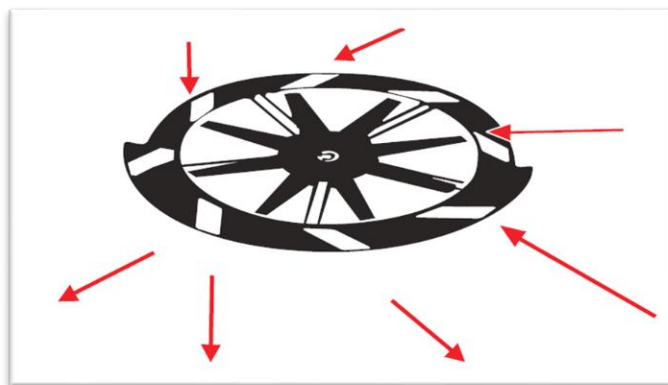
Figura 10 - Hidrômetro multijato.



Fonte: SILVA (2008).

A figura 11, mostra sua turbina sendo acionada pela incidência de vários jatos tangenciais:

Figura 11 - Modelo de turbina do hidrômetro multijato



Fonte: BOVO *et al.* (2008).

2.3.1.2 Medidores Volumétricos

Funciona por meio do enchimento de uma pequena câmara cilíndrica, de volume especificado e uma peça móvel (pistão, também chamado de êmbolo ou um disco), onde a passagem da água provoca um movimento a cada enchimento, que é transmitido pelo redutor de engrenagens indicando assim o volume de água que passou pelo hidrômetro (NIELSEN, 2003).

Para Alves *et al.* (2004), hidrômetros Volumétricos costumam ter melhor precisão que o taquimétricos ou velocimétricos, suas principais características está no funcionamento

eficiente em baixas vazões, sendo que um hidrômetro de Vazão nominal (Q_n) igual a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ tem seu início de funcionamento a $1,0 \text{ L/h}$. Sua forma construtiva permite que o dispositivo seja mais sujeito a defeitos de funcionamento, impurezas como areia em suspensão pode ocasionar o travamento do medidor, levando a problemas como falta de água, tendo a operadora que executar a manutenção rapidamente, além de custos mais elevados do hidrômetro, o que faz com que ele seja pouco utilizado pelas empresas de saneamento.

2.4 ERROS DE MEDIÇÃO

Para Silva (2008), todos os equipamentos utilizados em medição de vazão apresentam erros, sendo eles maiores ou menores dependendo da tecnologia empregada. Os hidrômetros, como todo equipamento de medição podem apresentar erros de indicação quando os valores apresentados são maiores ou menores que as vazões que de fato escoam por ele, sendo que fatores que afetam os medidores de água são: suas características construtivas e princípio de Funcionamento, posição da montagem, influência dos sólidos em suspensão e depositados; e, o uso de caixas d'água controladas por válvulas tipo boias, que devido suas pequenas vazões que se situam abaixo das vazões nominais dos hidrômetros.

Após certo tempo de utilização, o hidrômetro tem seus componentes desgastados, partículas em suspensão aderem às suas partes internas e vai gradativamente afetando a exatidão do aparelho (COELHO, 2009).

Os principais fatores que afetam os hidrômetros no decorrer de sua vida útil são:

- a) Qualidade da água;
- b) Regime de funcionamento do sistema de abastecimento;
- c) Projeto e qualidade do hidrômetro utilizado;
- d) Padrão de instalação.

Para Arregui, Cabrera Jr e Cobacho (2006), a precisão dos hidrômetros está diretamente relacionado com a água que circula através deles. Sendo assim, os erros dos medidores de água não são constantes, variam ao longo de sua faixa de medição. Com sua operação em médias e altas vazões as variações são mínimas, porém, para baixas vazões a curva de erros se acentua até atingir a vazão mínima.

O INMETRO (2000) em sua portaria 246, propõe que os erro de medição sejam calculados pela fórmula da equação 1, onde os valores são encontrados através de ensaios em

bancada. Realizar o ensaio de verificação de erros de medição consiste em comparar os valores obtidos pelo medidor com os valores apresentados pelos instrumentos da bancada de aferição.

$$E = \frac{(Lf - Li) - Ve}{Ve} \quad (1)$$

Onde:

E = Erro relativo em porcentagem;

Li = Leitura inicial do hidrômetro;

Lf = Leitura final do hidrômetro;

Ve = Volume escoado.

Como os erros dependem da faixa de vazões em relação ao tempo de consumo em um medidor, se faz necessário a definição de alguns parâmetros para uma melhor compreensão da curva de erro dos hidrômetros:

- a) Vazão (q): quociente do volume que passa através do medidor e o tempo que demora em fazê-lo.
- b) Vazão permanente (qp): também conhecida como vazão nominal (qn), é a vazão necessária para que o medidor funcione normalmente.
- c) Vazão de sobrecarga (qs): vazão em que se requer do medidor de água uma operação satisfatória durante um certo período de tempo sem deteriorar-se. Sendo que seu valor é o dobro da vazão nominal (qn).
- d) Vazão mínima (qmim): menor vazão em que o medidor registra indicação, dentro da faixa de erro máximo permitido.
- e) Faixa ou intervalo de vazões: intervalo que tem por limite a vazão de sobrecarga (qs) e pela vazão mínima (qmim) de modo que as leituras dos medidores não ultrapassem os erros máximos permitidos.
- f) Vazão de transição (qt): vazão encontrada entre a vazão de sobrecarga (qs) e a vazão mínima (qmim). Ela divide o intervalo de vazões em duas zonas: a zona inferior e a zona superior, cada uma delas se caracteriza por ter erros máximos permissíveis distintos.
- g) Vazão inicial: vazão em que o medidor começa a funcionar de forma estável, sem estar sujeito a uma exigência de cumprimento de erros máximos admissíveis.
- h) Curva de erro: gráfico que mostra a indicação do medidor em função das vazões. Emprega-se uma escala logarítmica, onde a vazão é representada no eixo das abscissas e o erro expresso em porcentagem, é representado no eixo das ordenadas.

- i) Curva de perda de pressão (carga): gráfico que mostra a perda de pressão em função das vazões, em que as vazões são representadas no eixo das abscissas e as perdas de pressão no eixo das ordenadas.

Na determinação da curva de erros devem ser utilizadas, no mínimo as seguintes vazões de ensaio:

- a) entre Q_{min} e $1,1 Q_{min}$;
- b) entre Q_t e $1,1 Q_t$;
- c) entre $0,225 Q_{max}$ e $0,25 Q_{max}$;
- d) entre $0,45 Q_{max}$ e $0,50 Q_{max}$;
- e) entre $0,90 Q_{max}$ e Q_{max} ;

Nota: Q_{min} e Q_t correspondem aos valores estabelecidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de hidrômetros e correspondentes valores de Q_{min} e Q_t

Classes Metrológicas	VAZÃO NOMINAL (m ³ /h)										
	0,6	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0	10,0	15,0	
A	Q_{min} m ³ /h	0,024	0,030	0,040	0,040	0,100	0,140	0,200	0,240	0,400	0,600
	Q_t m ³ /h	0,060	0,075	0,100	0,150	0,250	0,350	0,500	0,600	1,000	1,500
B	Q_{min} m ³ /h	0,012	0,015	0,020	0,030	0,050	0,070	0,100	0,120	0,200	0,300
	Q_t m ³ /h	0,048	0,060	0,080	0,120	0,200	0,280	0,400	0,480	0,800	1,200
C	Q_{min} m ³ /h	0,006	0,0075	0,010	0,015	0,025	0,035	0,050	0,060	0,100	0,150
	Q_t m ³ /h	0,009	0,0110	0,015	0,0225	0,0375	0,0525	0,075	0,090	0,150	0,225

Fonte: INMETRO (2000).

As curvas características dos hidrômetros representam os erros por submedição ou sobremedição para determinadas faixas vazão de ensaio, o resultado deve ser o cálculo da média aritmética de três ensaios realizados considerando as vazões para a determinação da curva de erro. A Tabela 2 demonstra as vazões de ensaio e os erros máximos admissíveis para medidor novo e medidor em uso, onde, Q_{min} e Q_t são dados pela tabela 1 (INMETRO, 2000):

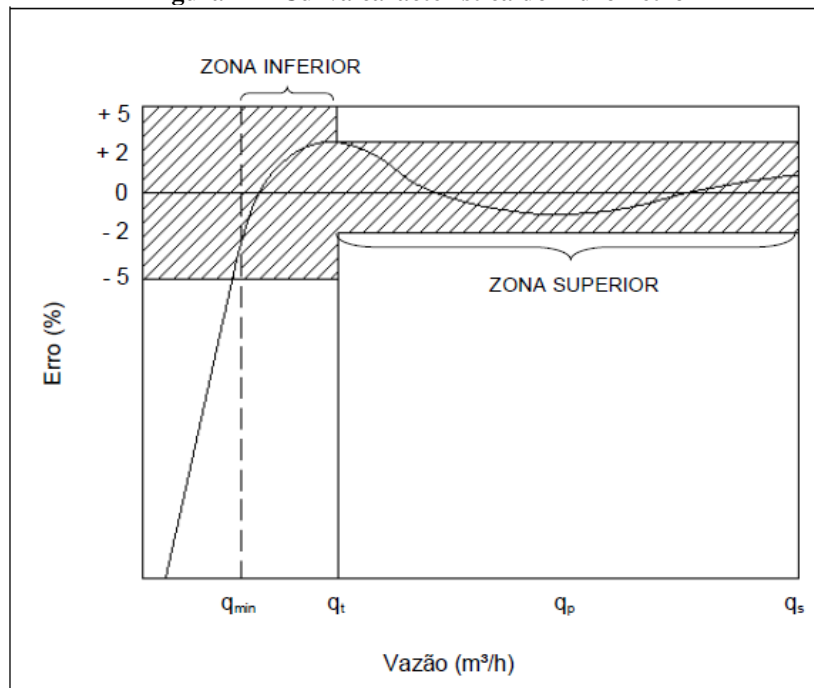
Tabela 2 - Vazões de calibração exigidas na portaria 256/2000

Vazões de ensaio	Erro máximo admissível	
	Medidor novo	Medidor em uso
Entre Q_{min} e $1,1 Q_{min}$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
Entre Q_t e $1,1 Q_t$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$
Entre $0,225 Q_{m\acute{a}x}$ e $0,25 Q_{m\acute{a}x}$	$\pm 2\%$	---
Entre $0,45 Q_{m\acute{a}x}$ e $0,50 Q_{m\acute{a}x}$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$
Entre $0,90 Q_{m\acute{a}x}$ e $Q_{m\acute{a}x}$	$\pm 2\%$	---

Fonte: INMETRO (2000).

Para hidrômetros em uso, os erros máximos permitidos na zona inferior são dados pelo intervalo desde (q_{min}), inclusive, até (q_t), exclusive, é de $\pm 10\%$ e os erros máximos permitidos na zona superior são dados pelo intervalo desde (q_t), inclusive, até (q_s), exclusive, é $\pm 5\%$. A figura 12 ilustra o gráfico da curva de erros de medição para hidrômetros novos. A figura 12 ilustra o gráfico da curva de erros de medição para hidrômetros novos e em uso (INMETRO, 2000).

Figura 12 - Curva característica do hidrômetro



Fonte: CASTRO (2004), adaptado.

A ABNT (2007) em sua primeira versão da NBR 15538 (que entrou em vigor em janeiro de 2008), ampliou a quantidade de vazões de ensaio a serem utilizadas para aceitação de hidrômetros, buscando resultado de vazões o mais próximo possível das vazões

efetivamente ocorridas nos medidores do consumidor. A menor vazão de teste passa a ser a metade da vazão mínima e os ensaios devem acontecer em dez valores de vazões, não mais em 5 conforme portaria 246/2000 INMETRO conforme ilustrado na tabela 3.

Diante disso, observa-se uma significativa melhoria em termos de análise de submedição, uma vez que a sua ocorrência se dá em vazões menores. Outro fator importante, foi a exigência da norma quanto à desgastes cíclicos em baixas vazões, além de ensaios de desgaste acelerado (fadiga) já previstos na portaria 246/2000, seguido do ensaio de verificação final dos erros de indicação após o desgaste, usando-se as mesmas vazões de verificação inicial (SILVA, 2018).

Tabela 3 - Vazões de calibração exigidas na NBR 15538:2007

Vazões	Qn= 0,6 m ³ /h		Qn= 0,75 m ³ /h		Qn= 1,5 m ³ /h		Qn= 2,5 m ³ /h	
	B	B	C	B	C	B		
Classe	B	B	C	B	C	B		
Qmin/2	6	7,5	7,5	15	12,5	25		
Qmin	12	15	15	30	25	50		
1,5 Qmin(Qt C)	*	*	22,5	*	37,5	*		
2 Qmin	24	30	30	60	50	100		
4 Qmin	48	60	*	120	*	200		
8 Qmin	96	120	120	240	200	400		
16 Qmin	192	240	240	480	400	800		
32 Qmin	384	480	480	960	800	1600		
Qn	600	750	1500	1500	2500	2500		
1,5 Qn	900	1125	2250	2250	3750	3750		
Qmáx	1200	1500	3000	3000	5000	5000		

Fonte: ABNT (2007).

Já em 2014, a NBR 15538 foi atualizada visando uma maior aproximação dos dados com sistemas que se predominam o uso da caixa d'água com válvula tipo boia. Também foram modificadas as nomenclaturas das vazões de teste Qmin, Qn, Qt e Qmáx para Q1, Q2, Q3 e Q4 respectivamente.

A portaria 295/2018 INMETRO altera os parâmetros para definições das vazões dos medidores tendo por referência a vazão mínima Q1, vazão de transição Q2, vazão permanente Q3 e vazão de sobrecarga Q4. A designação dos medidores deve ser feita pelos valores de Q3 em m³/h ou pela relação Q3/Q1. A figura 13 representa os valores adotados para vazão permanente Q3 expressa em m³/h.

Figura 13 - Vazões permanentes Q3

1	1,6	2,5	4	6,3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1 000	1 600	2 500	4 000	6 300

Fonte: INMETRO 2018

Com os valores da da relação Q3/Q1 demonstrado na figura 14, pode-se encontrar Q1, o valor de Q2 deve ser 60% maior que Q1 e o valor de Q4 deve ser 25% maior que Q3.

Figura 14 - Relação Q3/Q1

40	50	63	80	100
125	160	200	250	315
400	500	630	800	1000

Fonte: INMETRO 2018

No período de transição deve ser utilizada a portaria 256/2000 para determinação das vazões de teste dos medidores conforme tabelas 1 e 2 deste capítulo. Durante o período de transição continuará em vigor as vazões estipuladas na tabela 1 e 4 deste capítulo. Após o período de transição de 36 meses os fabricantes deverão se adequar ao novo relatório técnico de medição (RMT) a que se refere a portaria 295/2018. Na edição revisada de 2014 os intervalos de vazão são menores que os exigidos na versão anterior conforme tabela 4.

Tabela 4 - Vazões de calibração exigidas na NBR 15538:2014

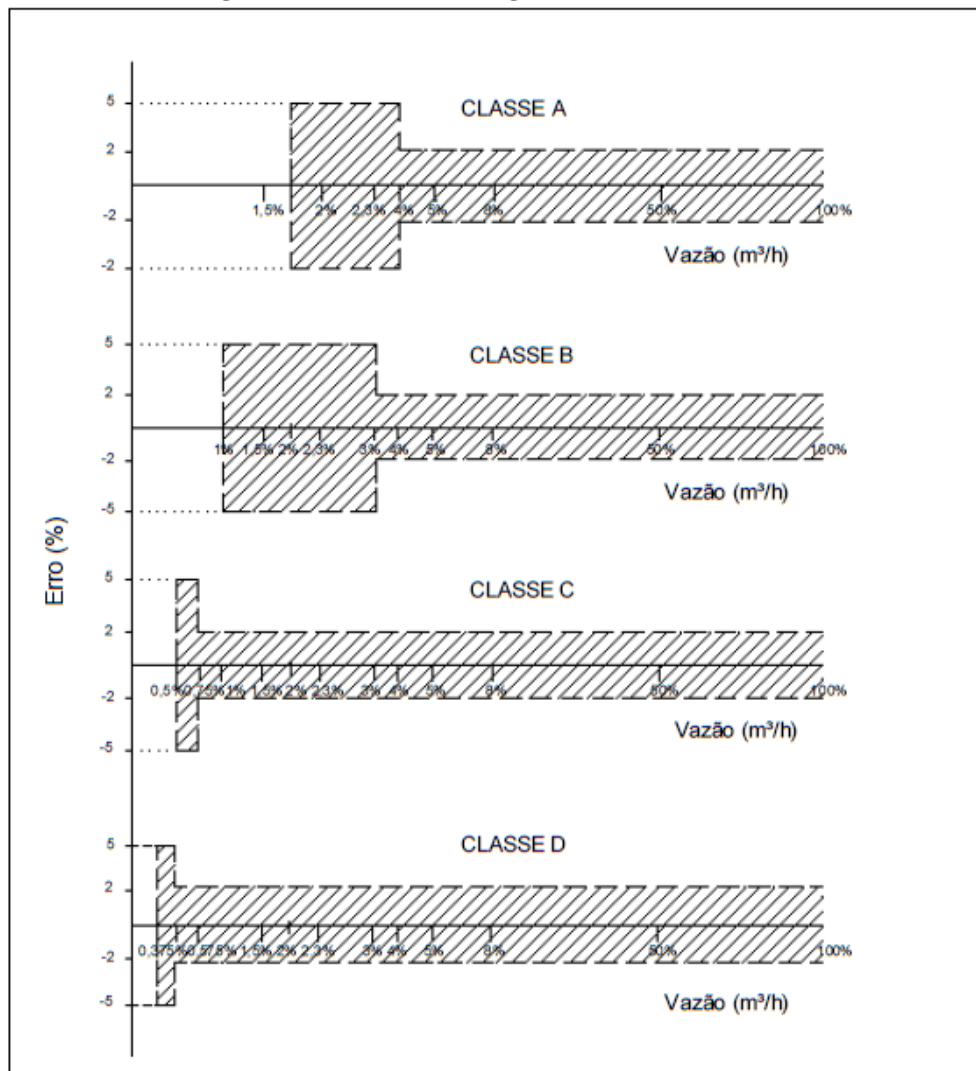
Intervalo de Vazão (L/h)	Vazões de Análise de Erros (L/h)	Perfil de Consumo (%)	Perfil de Consumo Acumulado (%)
0 - 5	2,5	4,56	4,56
5 - 15	10	6,99	11,55
15 - 30	22,5	6,83	18,38
30 - 50	40	7,34	25,72
50 - 150	100	23,21	48,93
150 - 350	250	23,92	72,85
350 - 550	450	12,27	85,12
550 - 850	700	7,29	92,41
850 - 1150	1000	5,86	98,27
1150 - 1500	1350	1,73	100

Fonte: ABNT (2014).

A portaria 295/2018 INMETRO dá um tempo de 36 meses a partir da data de sua publicação para que haja a transição de parâmetros de vazão. Após esse período os medidores em uso poderão permanecer instalados por até 120 meses a partir da data de publicação da portaria desde que fique dentro da faixa de erro admissível pela portaria 256/2000 INMETRO.

Para Vicentini (2012), através dos gráficos de erros de medição da figura 15, pode-se observar que as classes metrológicas a iniciar pela classe A, é onde se concentra os maiores erros de medição, suas vazões mínimas características em que o medidor começa a indicar são maiores, conferindo aos medidores classe A uma menor precisão na medição em baixas vazões.

Figura 15 - Classes metrológicas A, B, C, D ($Q_n < 15$)



Fonte: CASTRO (2004), adaptado.

Os medidores mais empregados em uso residencial são os de classe B. Porém em locais de consumo com vazões muito baixas é recomendado o uso de medidores de classe C, o qual

começa a registrar na metade da vazão mínima (q_{mim}) da classe B. Pode-se observar também que os medidores de classe D, podem registrar em quase todo seu intervalo de trabalho, com erros máximos de 2%, além de iniciar com uma menor vazão mínima (q_{mim}).

2.4.1 Interferência do uso de reservatórios domiciliares na micromedição.

No Brasil é comum o uso de abastecimento misto nas instalações residenciais de água, onde uma parcela desse consumo se dá diretamente da rede de distribuição e a outra parcela passa pela Caixa d'água, que tem sua vazão controlada por válvula tipo boia. Consumo este que causa grande oscilação nas vazões nos hidrômetros dos clientes (ALVES *et al.*, 2004).

Para Cobacho *et al.* (2007) a frequente interrupção no fornecimento do abastecimento, por irregularidade no abastecimento ou escassez de água, seria a única justificativa para o uso de caixas d'águas domiciliares, destacando por seu uso os seguintes pontos negativos:

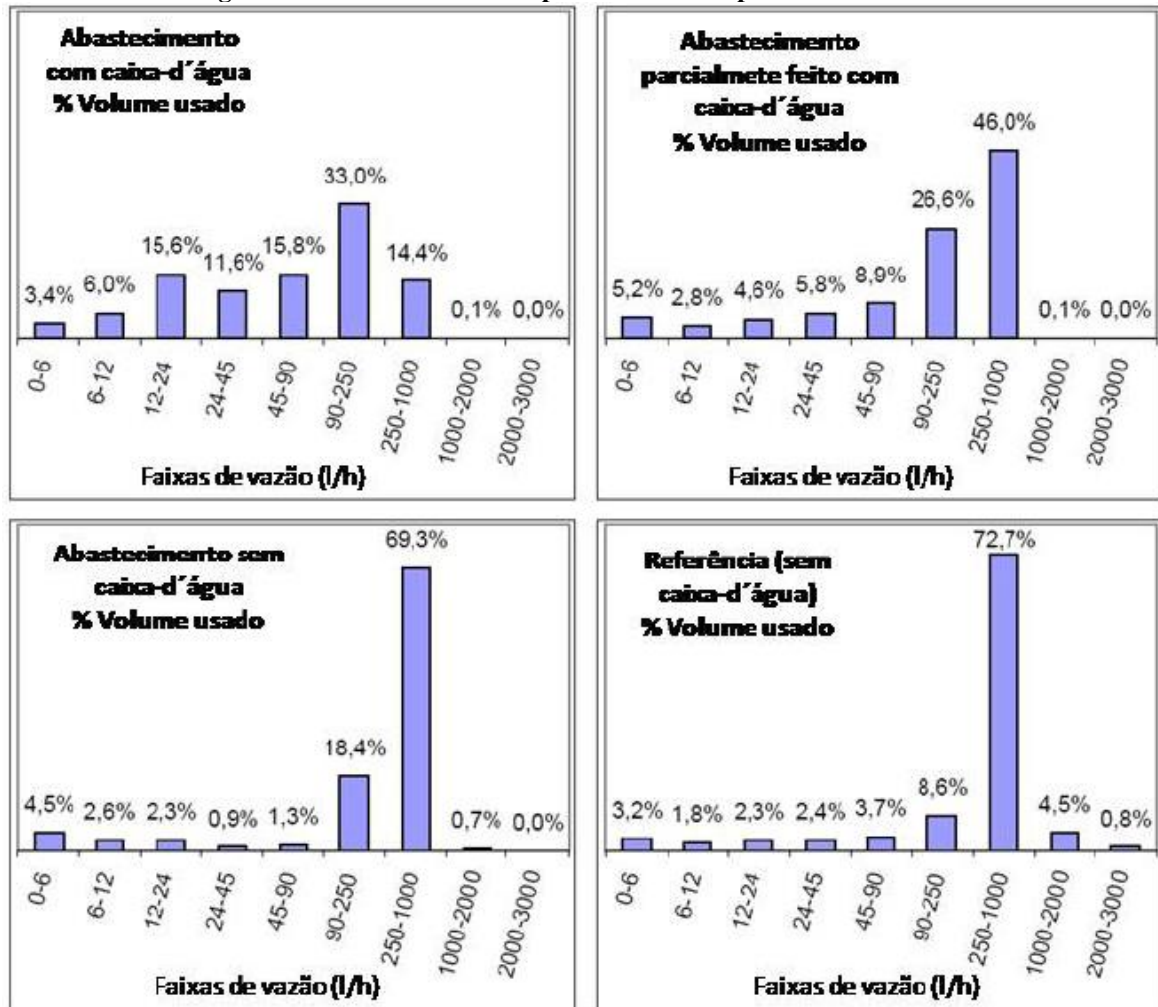
- a) Desperdício de água provocado por vazamentos após o reservatório, não percebido pelo usuário, uma vez que, geralmente as vazões do vazamento são menores que as vazões mínimas para início de acionamento dos hidrômetros;
- b) Ocorrência de perdas aparentes devido à baixas vazões ocorridas no fim do ciclo de enchimento da caixa d'água, mesmo não havendo vazamentos internos ao domicílio;
- c) Dificuldade para analisar quais tipos de perdas do balanço hídrico devido a deformação do padrão da curva de demanda;
- d) Desperdício de energia, necessárias para prover pressão aos clientes no final da rede;
- e) Degradação da qualidade da água que será consumida no domicílio.

Para Arregui *et al.* (2005) afirma que o uso de caixas d'água é causa de erros de medição mesmo em hidrômetros de classe metrológicas mais elevadas, além de se ter um período de manutenção dos hidrômetros muito pequeno para se manter o padrão de exatidão da medição mesmo em baixas vazões.

Estudo realizado por Cobacho *et al.* (2007), em 46 domicílios na Costa da Espanha, revela que há grande variação do perfil de consumo em relação ao abastecimento direto, misto (Abastecimento domicílio com consumo direto e por caixa d'água) e quando todo domicílio é bastecido pela caixa d'água, conforme ilustrado na figura 16. Pode-se observar nessa figura que em domicílios com abastecimento diretamente da rede de distribuição setenta por cento das vazões estão entre 250 e 1000 litros por hora, enquanto em domicílios com existência

reservatórios e mistos, o consumo não altera, no entanto, as vazões de abastecimento se alteram, distribuindo o consumo em menores faixas de vazão.

Figura 16 - Perfis de consumo para diferentes tipos de abastecimento



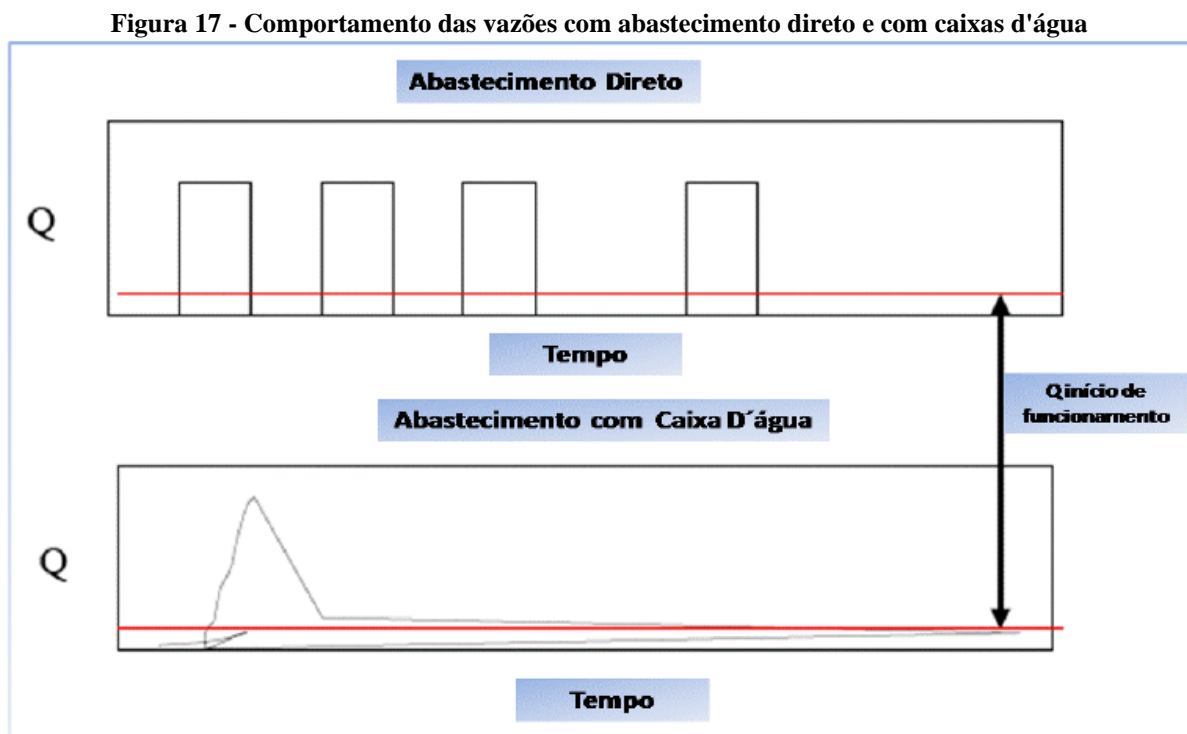
Fonte: COBACHO *et al.* (2007), adaptado.

Se o medidor trabalha sempre em vazões baixas, os volumes indicados podem ser bem menores do que os que de fato forma consumidos, sendo esta, uma típica situação em domicílios com caixas d'água com torneira tipo boia, que são válvulas que abrem e fecham automaticamente dependendo da combinação entre o nível da caixa d'água e a pressão de entrada. Elas são as mais utilizadas para esse tipo de controle. Quanto maior é a superfície da lâmina d'água, mais lento é o rebaixamento dessa lâmina quando ocorre o consumo (SANCHEZ *et al.*, 2000).

Na falta de tecnologias para o controle desejável de pressão na rede de distribuição, a utilização de caixas d'água seria uma alternativa para as empresas de saneamento em relação ao dimensionamento dos hidrômetros, de modo que em picos de consumo é amortecido pelos

reservatórios domiciliares, possibilitando a utilização de hidrômetros com menor capacidade. Por outro lado, o que se observa é que o uso de abastecimento direto deteriora mais rápido os medidores exigindo o uso de hidrômetros com vazões maiores. O amortecimento ocorrido pela existência de reservatórios domiciliares um dos principais fatores que colaboram para a elevada submedição, e comparando sistemas com a utilização de caixas d'água verifica-se que as perdas por submedição são bem maiores do que em sistemas que não utilizam caixas d'água domiciliares (SILVA, 2008).

Thornton e Rizzo (2002) demonstraram estudos sobre o comportamento do funcionamento do hidrômetro em relação à vazão, em que, se o nível do reservatório rebaixa rápido, a vazão será maior devido a posição da boia estar com maior abertura para a passagem de água, que aconteceram em blocos de vazões como representado na figura 17. Contudo, se o rebaixamento não for suficiente para liberar vazões maiores que as vazões mínimas para os hidrômetros começarem a indicar, poderá haver perdas por submedição.



Fonte: THORNTON & RIZZO (2002).

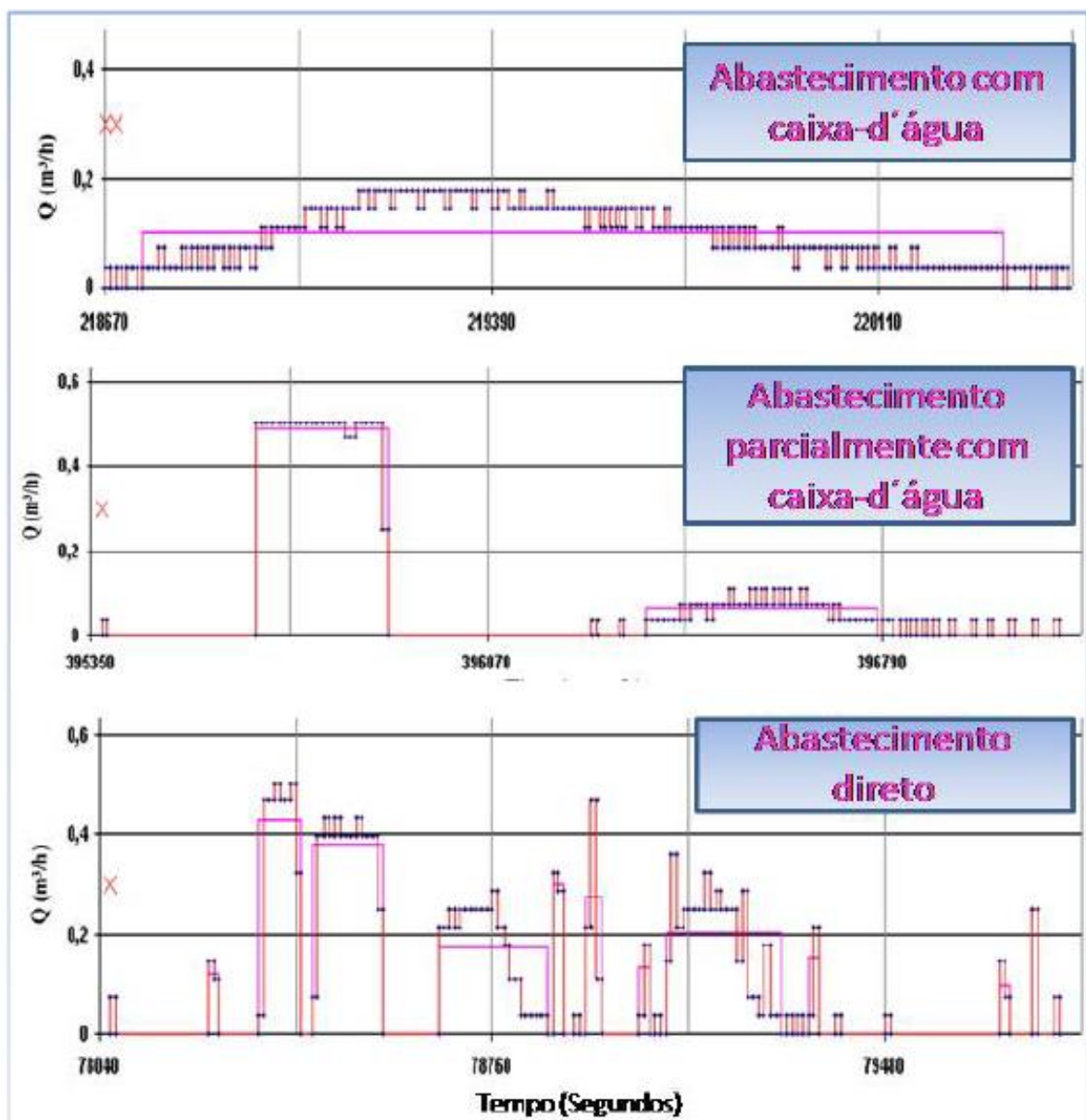
Segundo Thornton e Rizzo (2002) o estudo do comportamento de sistemas indiretos, ou seja, com uso predominante de caixas d'água domiciliares, é de grande complexidade sendo necessário considerar variáveis como:

- a) Capacidade do reservatório;
- b) Formato e dimensão – área da superfície da lâmina d'água;

- c) Idade e tipo da torneira boia utilizada;
- d) Condição da instalação da torneira boia;
- e) Pressão da rede de abastecimento.

Cobacho *et al.* (2007) realizaram estudos observando os diferentes valores de vazão para diferentes tipos de sistemas de abastecimento também obteve resultados parecidos com os resultados dos estudos de Thornton e Rizzo (2002) conforme demonstrado na figura 18.

Figura 18 - Comportamento das vazões em abastecimento com caixa d'água, abastecimento misto e sem caixa d'água



Fonte: COBACHO *et al.* (2007)

2.4.2 Interferência da inclinação de hidrômetros na micromedição.

Experimentos realizados por Mello (2000), teve por objetivo analisar o comportamento de hidrômetros do tipo multijato e unijato, de classes metrológicas A e B, de fabricantes diferentes e de vazões nominais de 1,5 m³/h, funcionando de forma inclinada. Em baixas vazões, inclinação lateral do hidrômetro diminui ainda mais a sensibilidade do mecanismo indicador, o que afeta o início do seu funcionamento, podendo causar erros de submedição que depende do tipo de abastecimento.

A montagem incorreta do medidor em relação à inclinação, potencializa a fricção dos mecanismos da relojoaria dos medidores, ocasiona a redução da vida útil e interfere na medição principalmente em baixas vazões. O erro por submedição devido a montagem de hidrômetros a 45° para as classes metrológicas B e C, com vazão de 22,5 L/h, realizando um comparativo com hidrômetros instalados corretamente são demonstrados na tabela 4 (ARREGUI, 2005).

Tabela 4 - Perda de exatidão por medidores domésticos em inclinação

Montagem	Modelo 1 Classe C	Modelo 2 Classe B	Modelo 3 Classe B	Modelo 4 Classe C	Modelo 5 Classe C
Horizontal	1,5%	-0,6%	-5,7%	0,3%	0,2%
45°	-2,9%	-10,1%	-37,9%	-2,6%	-4,5%
Diferença	4,4%	9,5%	32,2%	-2,9%	4,7%

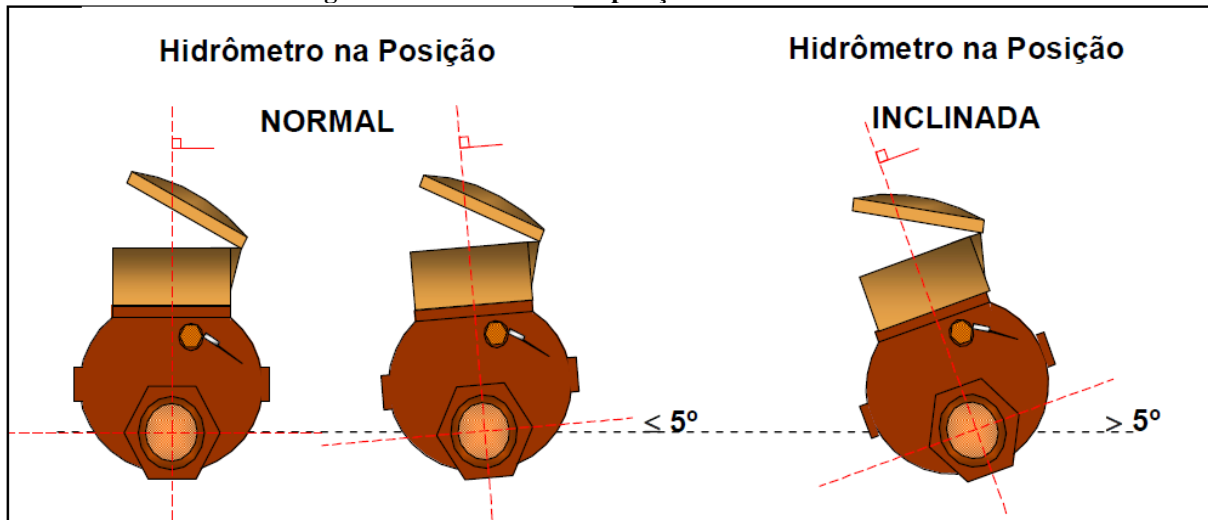
Fonte: ARREGUI (2005), adaptado.

O funcionamento dos medidores de turbina é afetado quando trabalham inclinados conforme exposto na figura 19. Portanto, apenas os hidrômetros volumétricos podem trabalhar inclinados sem que seja afetada sua curva característica de erros, à medida que os hidrômetros com indicadores inclinados tem sido uma boa saída por evitar que os medidores sejam inclinados pelos coletores de leitura (ALVES, 2004).

Miranda (2005) afirma ser necessário a padronização de indicadores com terminologias e siglas uniformizadas, com uma metodologia simplificada para cálculo de prováveis erros nos processos envolvidos na gestão das perdas.

No que se refere a hidrômetros, são selecionados para análise o volume de água consumido e medido, as condições de instalação, manutenção e operação, além das características dos hidrômetros.

Figura 19 - Hidrômetro na posição normal e inclinada



Fonte: SABESP (2005).

No caso de micromedição, os volumes não medidos ou submedidos devem ser estimados, necessitando assim de parâmetros definidos e base de dados confiáveis para que possam distribuídos de forma correta no cálculo das perdas.

3 ESTUDO DE CASO

Os valores referentes a dados de submedição encontrado no presente trabalho teve como base a análise de hidrômetros retirados para teste em bancada conforme norma ABNT NBR 15538:2014 demonstrada na tabela 4, onde são utilizadas 10 vazões de teste, iniciando-se em 2,5 L/h até 1350 L/h. Foram analisados hidrômetros de capacidade nominal de 0,75m³/h, 1,5m³/h e 2,5m³/h. Todavia, em localidades como é o caso da cidade analisada, onde se tem o uso predominante de caixas d'água domiciliares com válvulas tipo boia, as vazões de consumo podem ser menores do que as vazões de teste em bancada exigidas pela norma, o que pode contribuir para um incremento do valor submedido.

A supervisão de micromedição da SANEAGO, ao analisar hidrômetros substituídos em que se utilizava o critério tempo de instalação para à substituição, observou que muitos hidrômetros com vida útil vencida e pouco volume registrado ainda estavam em perfeitas condições de uso, em que os resultados de erros de medição desses medidores estavam dentro dos padrões para hidrômetros em utilização em conforme portaria 256/2000 do INMETRO. E por outro lado, foram encontrados também hidrômetros que não atingiram sua vida útil esperada apresentando erros de medição devido um alto volume registrados por eles o que pode ter danificado seu sistema de medição.

Como complemento ao teste em bancada realizado pela SANEAGO nos hidrômetros retirados para análise, foram feitos também, estudos em três residências da cidade buscando dados de vazões antes e depois das caixas d'água dos clientes utilizando-se hidrômetros volumétricos de classe C de saída pulsada a cada litro, com capacidade nominal de 0,75m³/h (antes da caixa d'água) e 2,5m³/h (depois da caixa d'água) instalados juntamente com seus respectivos registradores de dados de vazão (*data logger*).

Outro fator importante que também pode influenciar para que haja aumento da submedição é a inclinação lateral dos hidrômetros, que por aumentar o atrito da relojoaria devido sua posição incorreta de instalação podendo contribuir para que haja uma maior propensão à erros de medição. Para uma maior precisão dos resultados obtidos, foram realizados estudos para se obter uma inclinação lateral média de quatro por cento dos hidrômetros instalados da cidade objeto do estudo. Essa inclinação média foi utilizada para realização de teste de vazão visando encontrar possíveis diferenças entre o valor encontrado na posição vertical e posição inclinada lateralmente.

3.1 CARACTERÍSTICAS DA LOCALIDADE ESTUDADA

Pirenópolis tem sua economia baseada no turismo, artesanato e na extração da pedra que leva seu nome, a "Pedra-de-Pirenópolis" é usada na construção civil para revestimentos e pisos e decora ruas e casas da cidade. Segundo o IBGE (2019), a cidade tem uma população estimada em 2019 de 24908 pessoas residentes na zona urbana e rural. Conforme demonstrado na figura 20, seus principais acessos são pela cidade de Corumbá de Goiás através da GO-225, por Planalmira através da GO-338 e pela BR-151 trevo Babilônia através da GO-431.

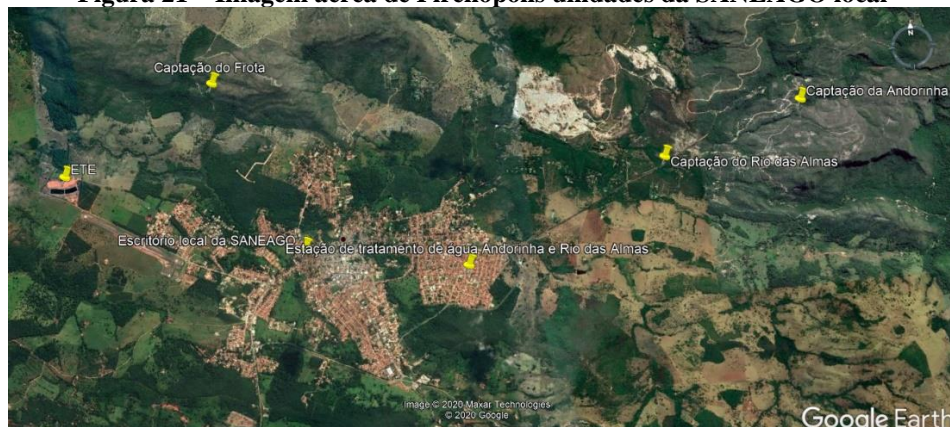
Figura 20 - Imagem aérea de Pirenópolis acesso local



Fonte: Próprio autor (2020).

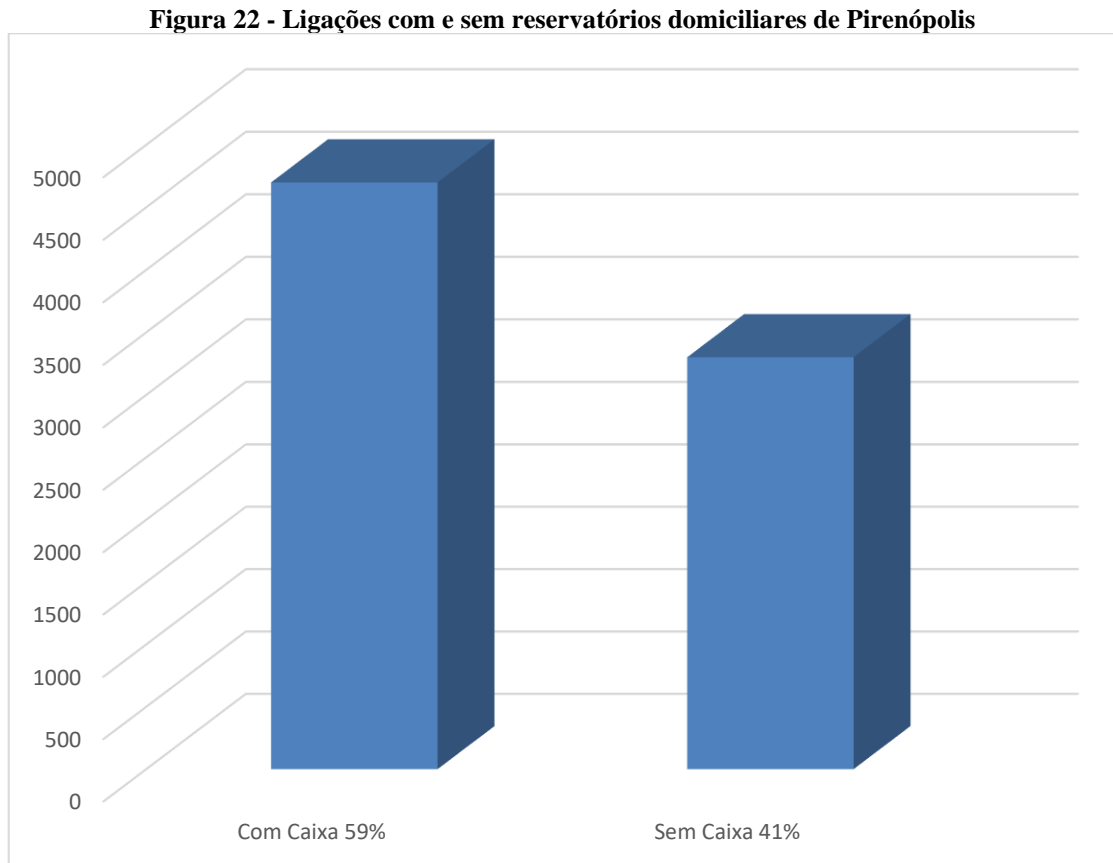
A cidade tem aproximadamente oito mil ligações de água, por ser uma cidade turística, o perfil de consumo se altera devido a um maior número de bares, lanchonetes, restaurantes, pousadas e casas de veraneio em relação a outras cidades atendidas pela SANEAGO. A figura 21 demonstra as unidades do sistema de abastecimento e esgotamento sanitário da cidade.

Figura 21 – Imagem aérea de Pirenópolis unidades da SANEAGO local



Fonte: Próprio autor (2020).

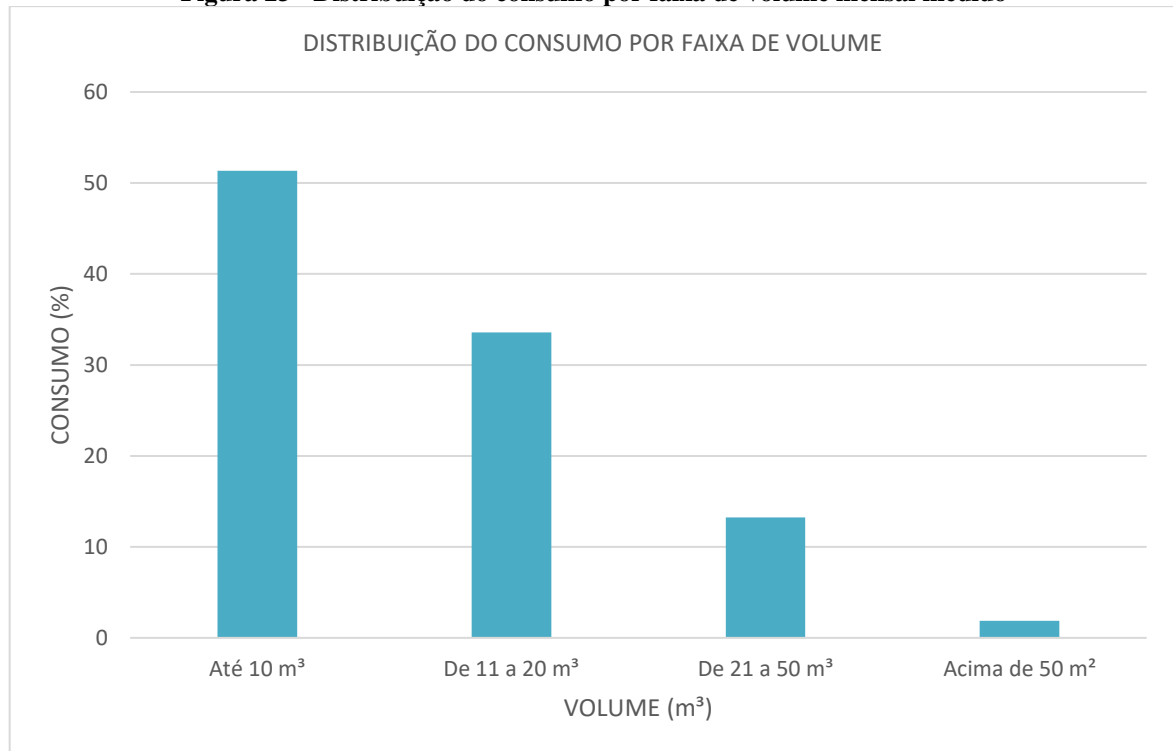
A figura 22, que demonstra o relatório emitido pela SANEAGO de quantidade de caixas d'água residenciais existentes nas ligações de água da cidade de Pirenópolis, observou-se que 59% das residências utilizam caixas d'água com válvula tipo boia, situação que pode tornar o sistema mais propenso a erros por submedição devido ao amortecimento da vazão de consumo devido ao sistema caixa d'água e válvula tipo boia.



Fonte: Próprio autor (2019).

Valores menores de vazão de consumo são relevantes principalmente quando se utiliza caixa d'água com válvula tipo boia. Além do amortecimento ocasionado pela caixa d'água domiciliar, ocorre também o amortecimento ocasionado pelas caixas de descarga e caixas acopladas aos vasos sanitários utilizadas nos banheiros da maioria das residências atualmente, o que pode diminuir ainda mais a vazão que passa pelo hidrômetro.

O perfil de consumo mensal de água da cidade pode ser observado conforme dados extraídos do relatório CO151 (boletim de cadastro comercial) demonstrado na figura 23, onde observa-se que o maior porcentual de volume consumido está na faixa de até 10m³/mês.

Figura 23 - Distribuição do consumo por faixa de volume mensal medido

Fonte: Próprio autor (2019).

Por ser uma cidade com características geográficas montanhosas a cidade apresenta uma grande diferença de altitude entre seus vários bairros, isso dificulta o controle da pressão da água nas adutoras. A diferença de altitude pode chegar a 125 metros de altitude entre o sistema de tratamento de água do Frota e a rede de distribuição mais baixa da cidade, as redes e adutoras de água do sistema estão equipados com 13 válvulas redutoras de pressão e uma caixa de quebra de pressão visando amenizar problemas com grandes vazamentos além a adequação à norma NBR 12218 de 1994, que diz que a pressão estática máxima deve ser de 500 kPa e a pressão dinâmica mínima deve ser de 100 kPa.

Os erros por submedição podem ser resultantes de diversos fatores, entre eles destacasse vazões abaixo da vazão mínima para início de funcionamento dos medidores, e o uso de reservatórios de água domiciliares potencializa a diminuição dessa vazão. Considerando que a maioria dos imóveis que utilizam caixas d'água comercializadas com tamanhos aproximados, há uma relação inversa entre o volume do reservatório de água e vazão que o abastece, onde, quanto maior o tamanho do reservatório, maior será sua lâmina de água e conseqüentemente menor será a vazão que o abastece. A figura 24 demonstra as contas com consumo até 10 m³ mensais divididas em medidores de Qn 0,75 e 1,5 m³/h e demonstra também se o abastecimento é direto ou indireto e os respectivos tamanhos dos reservatórios.

Figura 24 – Hidrômetros capacidade 0,75 e 1,5 m³/h consumo até 10 m³/mês

Tipo de Abastecimento	Capacidade medidor	
	0,75 m ³ /h	1,5 m ³ /h
Direto (sem caixa d'água)	1290	825
Caixa d'água 250 L	165	169
Caixa d'água 500 L	907	1094
Caixa d'água 1000 L	160	207
Caixa d'água > 1000 L	15	29

Fonte: Próprio autor (2019).

Por ser uma cidade com características geográficas montanhosas a cidade apresenta uma grande diferença de altitude entre seus vários bairros, isso dificulta o controle da pressão da água nas adutoras. A diferença de altitude pode chegar a 125 metros de altitude entre o sistema de tratamento de água do Frota e a rede de distribuição mais baixa da cidade, as redes e adutoras de água do sistema estão equipados com 13 válvulas redutoras de pressão e uma caixa de quebra de pressão visando amenizar problemas com grandes vazamentos além a adequação à norma NBR 12218 de 1994, que diz que a pressão estática máxima deve ser de 500 kPa e a pressão dinâmica mínima deve ser de 100 kPa.

3.2 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE CAMPO

A realização do estudo de campo teve por objetivo principal a aquisição de dados para encontrar valores de erros por submedição de água em hidrômetros o mais próximo possível da realidade do sistema em questão. Foram realizadas as seguintes etapas para o levantamento de dados para análise:

3.2.1 Ensaios de vazão em laboratório de hidrometria para determinação da curva de erro dos hidrômetros;

A execução dos testes de vazão em laboratório de micromedição obedeceu a seguinte sequência:

- a) A Supervisão de Micromedicação – P-SMM emitiu relatório de contas onde deveriam ser realizadas as substituições dos hidrômetros;
- b) A Gerência da SANEAGO do distrito de Pirenópolis, solicitou os hidrômetros novos para realizar a substituição à Gerência de regional (Anápolis);
- c) Foi feito um cronograma de troca de hidrômetros levando-se em consideração a data da realização da leitura em cada grupo de faturamento;
- d) As substituições e verificação da inclinação lateral dos hidrômetros foram realizadas do dia 17/12/2018 ao dia 03/01/2019;
- e) Os hidrômetros foram transportados para Supervisão de Micromedicação – P-SMM para realização dos ensaios de vazão;
- f) Os ensaios foram realizados do dia 18/02/2019 a 25/02/2019.

As substituições dos hidrômetros ocorreram logo após a data de leitura de cada grupo de faturamento, uma vez que, ao se fechar o ciclo de leitura mensal, um novo ciclo será registrado pelo novo hidrômetro a partir dessa data de forma completa, o que proporciona a empresa de saneamento local menores problemas relacionados à reclamação de clientes devido a faturamento por consumo médio ou consumo estimado. O relatório representado na figura 23 demonstra a relação de quantidade de hidrômetros por capacidade e tempo de utilização, conforme observado na figura 25 a maior parcela de hidrômetros estar na faixa de vida útil de 0 a 7 anos, representando 72% do total do parque de hidrômetros da cidade de Pirenópolis.

Figura 25 - Relação de hidrômetros por idade e capacidade da cidade de Pirenópolis

Hidrômetros por idade	1,5 M3/H	1,5 M3/H CURTO	3,0 M3/H	3,0 M3/H CURTO	5,0 M3/H	7,0 M3/H	10,0 M3/H	20,0 M3/H	30,0 M3/H	>= 30,0 M3/H	80,0 M3/H	120,0 M3/H	300,0 M3/H	500,0 M3/H	Total	Parque %	Somatório	Acumulado %
Mais de 15 anos	3	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0,49%	39	0,49
De 10 a 15 anos	1	0	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	211	2,66%	250	3,16
De 9 a 10 anos	41	0	354	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	395	4,99%	645	8,14
De 8 a 9 anos	134	0	339	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	474	5,98%	1.119	14,13
De 7 a 8 anos	478	0	567	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.045	13,19%	2.164	27,32
De 6 a 7 anos	1.017	0	1.167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.184	27,58%	4.348	54,90
De 0 a 5 anos	2.208	0	1.360	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3.572	45,10%	7.920	100,00

Fonte: Próprio autor (2019).

A SANEAGO em seu planejamento estratégico visando buscar a maximização dos resultados e melhoria no atendimento implantou um plano gradativo de substituição de hidrômetros. O critério a ser obedecido para a troca era a vida útil dos mesmos, onde a meta seria a substituição de todos os hidrômetros acima de 5 anos de utilização em todos os sistemas atendidos pela empresa. Porém recentemente a supervisão de micromedicação da SANEAGO realizou estudos em hidrômetros retirados com vida útil vencida, porém com baixo volume

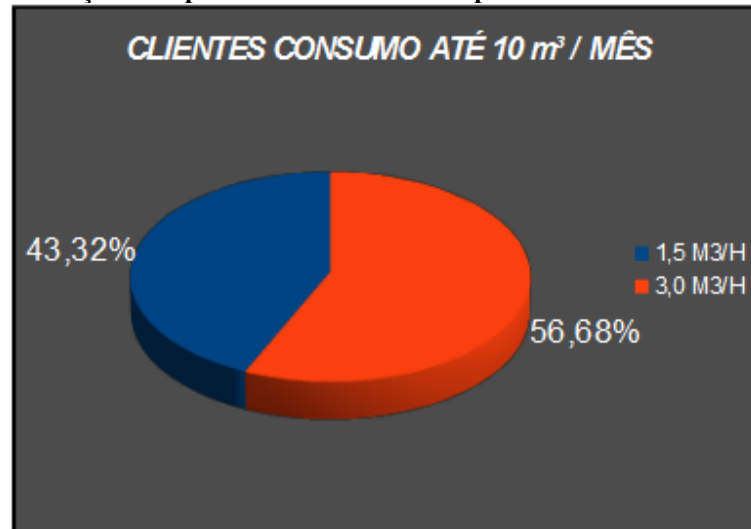
registrado, esses medidores apresentaram um bom desempenho no teste de vazão, obedecendo à critérios da NBR NM 15538:2014 para medidores em uso. Por outro lado, foram analisados também hidrômetros com vida útil abaixo dos 5 anos de uso, porém com altos volumes registrados, esses medidores apesar de estarem dentro da faixa de 0 a 5 anos de uso, não apresentaram resultados satisfatórios nos testes de vazão não obedecendo aos critérios estabelecidos pela NBR anteriormente citada. Portanto a empresa decidiu estabelecer critérios para substituição de hidrômetros com base nas informações de volume registrado e não mais por dados de vida útil vencida.

Os medidores analisados no teste de submedição comprova que, quanto maior o volume registrado pelos mesmos, independentemente de sua vida útil, menor é seu IDM e conseqüentemente maior a sua perda por submedição. Isso se dá devido ao desgaste da relojoaria, à variação de temperatura, qualidade da água entre outros fatores.

Os hidrômetros de classe B são dimensionados para uma vazão de início de funcionamento maior de que os hidrômetros de classe C, porém, seu custo de aquisição é menor. Conforme tabela 1 demonstrada no capítulo anterior, os hidrômetros de classe B com uma vazão nominal (Q_n) de $0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ tem uma vazão de início de funcionamento (Q_{min}) de $15,0 \text{ L/h}$, os hidrômetros (Q_n) de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ tem seu início de funcionamento a partir de $30,0 \text{ L/h}$. Já os hidrômetros de classe C com vazão nominal (Q_n) de $0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ e $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, que tem suas vazões de início de funcionamento igual a $7,5 \text{ L/h}$ e $15,0 \text{ L/h}$ respectivamente, o que corresponde à metade das vazões mínimas (Q_{min}) dos de classe B de mesma capacidade. Já os hidrômetros volumétricos, tem suas vazões de início de funcionamento bem menores que os hidrômetros velocimétricos, sendo que um hidrômetro de Vazão Nominal (Q_n) de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ tem seu início de funcionamento a $1,0 \text{ L/h}$.

A figura 26, demonstra que as contas com consumo mensal de até 10 m^3 , pode-se observar que nessa faixa onde ocorrem as menores vazões de consumo, é que está concentrada a maior porcentagem de ligações. Através de uma análise superficial pode-se constatar que o parque de hidrômetros está mal dimensionado, onde a maioria dos hidrômetros instalados são de vazão máxima de $3 \text{ m}^3/\text{h}$, hidrômetros maiores em vazões menores colaboram para um aumento na submedição no sistema de abastecimento de água, conforme comentado no capítulo 2.

Figura 26 - Relação de capacidade de hidrômetros por faixa de consumo até 10 m³/mês



Fonte: Próprio autor (2019).

A supervisão de micromedicação observou que a cidade de Pirenópolis tem uma particularidade na faixa de consumo de 10 a 20 m³, onde porcentual de clientes dessa faixa é um dos maiores entre todas as outras cidades atendidas pela SANEAGO. A figura 27, demonstra que os hidrômetros instalados nessa faixa de consumo mensal estão divididos em medidores com vazões máximas de 1,5 e 3 m³/h em parcelas praticamente iguais.

Figura 27 - Relação de capacidade de hidrômetros por faixa de consumo 11 a 20 m³/mês



Fonte: Próprio autor (2019).

Os ensaios dos medidores foram realizados em bancada gravimétrica conforme figura 28, que através de sua programação que aplica a pressão necessária para que ocorra de forma precisa cada vazão a ser ensaiada conforme ABNT NBR 15538:2014, a água que escoar pelos

medidores é pesada pelo equipamento. O software coleta dados como temperatura e pressão para encontrar o valor exato do volume escoado pelos medidores, para cada vazão de ensaio é coletado todas as leituras dos medidores para que possa ser modelada a curva de erros de medição resultante. Para a formulação da curva de erros por submedição são realizadas 10 vazões de teste diferentes sendo que para cada vazão são realizados dois testes e a média dos dois testes são os resultados a ser registradas no gráfico conforme informações fornecidas pela supervisão de micromedição, as bancadas de ensaio gravimétricas são inspecionadas anualmente pelo INMETRO.

Figura 28 - Bancada gravimétrica de teste de vazão



Fonte: Próprio autor (2019).

Foram feitos ensaios em 40 hidrômetros de diversas marcas e capacidades de 1,5 m³/h e 3 m³/h de vazão máxima, todos eles de classe metrológica B, o procedimento começa na

separação dos hidrômetros por capacidade, após a seleção eles são instalados na bancada para começarem os ensaios de vazão. Os ensaios realizados em dez vazões diferentes para todos os hidrômetros. As vazões de ensaio que variam de 2,5 a 1350 L/h aplicadas para encontrar a curva de erros dos hidrômetros analisados nesse trabalho estão descritas na NBR 15538/2014 conforme demonstrado na tabela 4, e suas vazões contemplam sistemas onde há predominância de utilização de caixas d'água, dando ao estudo uma maior confiabilidade.

3.2.2 Obtenção de dados de vazão de consumo de três clientes.

Para complementação dos estudos, foram realizados testes em quatro residências onde a proposta inicial era de instalar registradores eletrônicos de pressão e vazão para apuração da vazão antes da caixa d'água e após a caixa d'água, porém, devido à dificuldade de aquisição ou empréstimo do registrador de pressão, foram estudados apenas a vazão dos domicílios, outro ponto que teve que ser modificado foi em relação à medição depois da caixa d'água, isso se deu pelo fato de que a maioria do domicílios tem sistema de abastecimento interno mista, sendo uma parte abastecida pelo sistema direto e a outra parte pelo sistema indireto (após a caixa d'água) e também devido ao sistema de descarga de uma parcela significativa de imóveis utilizarem válvulas de descarga direta, com grandes vazões que poderiam danificar os medidores volumétricos e também não fornecer uma leitura precisa da vazão ocorrida. Para a coleta de dados de vazão, os hidrômetros volumétricos e registradores foram instalados antes da caixa d'água e em série com o sistema durante os sete dias de teste, foi feita também, a leitura nos hidrômetros instalados pela SANEAGO nas residências que foram realizados os estudos visando a comparação entre os hidrômetros volumétricos classe metrológica C e os hidrômetros das residências em análise. Os testes de vazão antes e depois da caixa domiciliar obedeceram às seguintes etapas para sua execução:

- a) Verificação de disponibilidade de dois conjuntos de hidrômetros volumétricos de saída pulsada e registradores de dados na SANEAGO;
- b) Treinamento e transporte do equipamento para instalação na cidade de Pirenópolis;
- c) Aquisição de peças para instalação dos equipamentos na casa 1, 2 e 3;
- d) Instalação e configuração dos equipamentos nas residências;
- e) Coleta de dados;
- f) Análise dos dados coletados para verificação de resultados.

A supervisão de micromedição disponibilizou dois hidrômetros volumétricos com saída pulsada e dois registradores de dados para instalação nas residências antes da caixa d'água. Os hidrômetros utilizados para realização do teste de vazão são volumétricos, com vazões nominais de $1,5\text{m}^3/\text{h}$ e $2,5\text{ m}^3/\text{h}$, com sensores externos para transmissão dos dados para o *data logger*. Eles foram instalados nas tubulações internas em série com os medidores do domicílio antes das caixas d'água conforme figura 29:

Figura 29 - Hidrômetro Volumétrico teste de vazão classe C instalado



Fonte: Próprio autor (2019).

Os registradores de dados coletavam as informações através dos pulsos magnéticos emitidos a cada litro escoados pelos medidores, essas informações são transmitidas para os registradores de dados, onde os dados são recebidos e processados com base em parâmetros como: tempo para leitura dos pulsos, fator do medidor e unidade de medidas. Com a entrada desses dados foi possível determinar o fator de escala. O fator de escala determina qual o múltiplo de vazão em determinado tempo. Quanto maior o tempo de aquisição dos dados do medidor, menor é o fator de escala, ou seja, quanto maior o tempo de entre uma aquisição e outra, maior será a resolução da medição. A figura 30 demonstra lado a lado as diferentes entradas de dados no registrador sendo a da esquerda com um fator de escala de 30 em 30 litros e o da direita com um fator de escala de 20 em 20 litros. Todos os dados estão com suas unidades de medida em L/h.

A figura 30, demonstra os dados inseridos para aquisição das vazões de teste da casa 3, o intervalo entre aquisições é de 3 em 3 minutos e o fator de escala da vazão é de 20 L/h.

Figura 30 - Dados de aquisição de vazão casa 3

Registrador	
Modelo:	LogBox-DA
Número de Série:	17718449
Versão do Firmware:	1.14
Capacidade da Memória:	65532 aquisições
Vazão [l/h]	
Entrada:	Contato Seco
Valor:	Aquisições por valor instantâneo
Fator do Medidor:	1
Fator de Escala:	20
Offset:	0
Alarme Inferior:	Indefinido
Alarme Superior:	Indefinido
Fórmula:	None
Informações da Coleta	
Título:	HIDRO 1,5 CASA 3
Intervalo entre aquisições:	3 min
Número total de aquisições:	3360
Início das Aquisições:	Data: 03/11/2019 Horário: 12:00:00
Final das Aquisições:	Data: 10/11/2019 Horário: 12:00:00
Momento da coleta:	segunda-feira, 11 de novembro de 2019 às 19:07:56
Primeira aquisição:	domingo, 3 de novembro de 2019 às 12:03:00

Fonte: Próprio autor (2019).

Já a figura 31 demonstra os dados inseridos para aquisição das vazões de teste da casa 1, o intervalo entre aquisições é de 2 em 2 minutos e o fator de escala é de 30 L/h, para realização do teste na casa 2, 3 e 4 foram utilizados intervalos de aquisição de 3 em 3 minutos devido uma melhor resolução gráfica uma vez que quanto menor o fator de escala de vazão, mais próximo a vazão de teste se aproxima da real vazão do domicilio.

Figura 31 - Dados de aquisição de vazão casa 1

Registrador	
Modelo:	LogBox-DA
Número de Série:	17718449
Versão do Firmware:	1.14
Capacidade da Memória:	65532 aquisições
Vazão [l/h]	
Entrada:	Contato Seco
Valor:	Aquisições por valor instantâneo
Fator do Medidor:	1
Fator de Escala:	30
Offset:	0
Alarme Inferior:	Indefinido
Alarme Superior:	Indefinido
Fórmula:	None
Informações da Coleta	
Título:	HIDRO 1,5 CASA 1
Intervalo entre aquisições:	2 min
Número total de aquisições:	4954
Início das Aquisições:	Data: 14/09/2019 Horário: 16:00:00
Final das Aquisições:	Data: 21/09/2019 Horário: 16:00:00
Momento da coleta:	sábado, 21 de setembro de 2019 às 13:08:50
Primeira aquisição:	sábado, 14 de setembro de 2019 às 16:02:00

Fonte: Próprio autor (2019).

O hidrômetro emite um pulso magnético ao completar um ciclo, esse pulso magnético é coletado pelo sensor acoplado ao hidrômetro e transmitido ao registrador de dados. A figura 32 demonstra o sensor conectado ao registrador de dados instalado ao medidor utilizado no teste.

Figura 32 - Sensor acoplado ao hidrômetro e registrador de dados



Fonte: Próprio autor (2019).

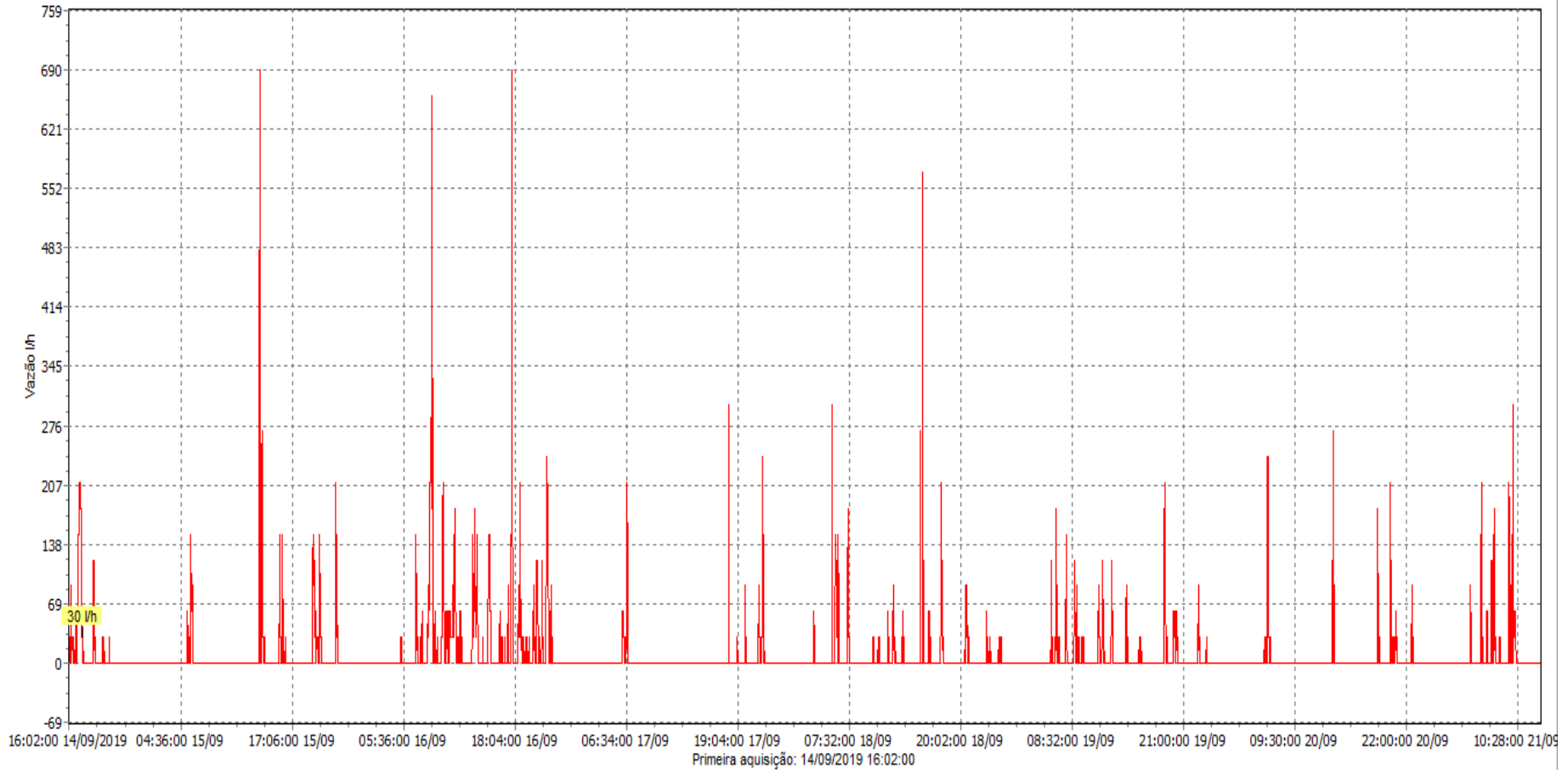
A casa 1 tem uma área construída de aproximadamente 200 m², com apenas um morador no domicílio e a média de consumo da residência é de 7 m³/mês, a residência tem um hidrômetro instalado de 0,75 m³/h de capacidade de vazão nominal, tem um reservatório de fibra de cimento amianto de 500 litros e seus banheiros contam com válvulas de descarga direta. A água que escoa pelo hidrômetro abastece a caixa e uma torneira de água direta, a caixa d'água abastece duas torneiras do tanque de lavar roupas, uma máquina de lavar roupas, uma torneira de pia de cozinha, duas torneiras de pia de banheiro e duas válvulas de descarga direta.

A figura 33 demonstra o gráfico de consumo da casa 1 referente ao hidrômetro de vazão nominal de 1,5 m³/h. Seu intervalo de aquisições de dados foi de dois minutos, foi instalado sábado 14 de setembro de 2019 e sua primeira aquisição foi as 16:02 horas e retirado no dia 21 de setembro de 2019 as 13:08 horas resultando num total de 4.954 aquisições.

Figura 33 - Gráfico de consumo casa 1 hidrômetro Qn 1,5 m³/h

HIDRO 1,5 CASA 1

Valor Médio Grades



Aquisição: 703 Vazão: 0 l/h Mínimo: : 0 l/h Máximo: : 690 l/h Médio: : 9,7 l/h
Data: 15/09/2019 15:26:00

Ativar o Windows Escala única
Acesse Configurações para ativar o Windows.
 Cruz

Fonte: Próprio autor (2019).

O programa LogChart 2 demonstra o resultado das coletas através de gráficos, tabelas e relatórios, dá uma informação média de vazão de 9,7 L/h para a casa 1. Esse consumo médio é referente a todo o volume de água consumido pelo seu tempo total de teste. Pode-se observar na figura 34 que tempo utilizado pelo programa considera também o tempo em que não há consumo na residência, o que pode distorcer o resultado com a diminuição do valor da vazão média de consumo. Ao ser retirado do gráfico do hidrômetro de 1,5 da casa 1 os horários em que não há vazão, nota-se que há um significativo aumento na vazão média da residência, essa vazão se aproxima mais da realidade do regime de trabalho do medidor. Esse tempo de utilizado para aquisição da média baixa de 153 horas e 18 minutos para 60 horas, o que faz aumentar a vazão média de consumo de 9,7 L/h para 27,4 L/h.

Figura 34 - Dados de aquisição casa 1 hidrômetro Qn 1,5 m³/h

Informações Gerais	
Registrador	
Modelo:	LogBox-DA
Número de Série:	17718449
Versão do Firmware:	1.14
Capacidade da Memória:	65532 aquisições
Vazão [l/h]	
Entrada:	Contato Seco
Valor:	Aquisições por valor instantâneo
Fator do Medidor:	1
Fator de Escala:	30
Offset:	0
Alarme Inferior:	Indefinido
Alarme Superior:	Indefinido
Fórmula:	None
Informações da Coleta	
Título:	HIDRO 1,5 CASA 1
Intervalo entre aquisições:	2 min
Número total de aquisições:	4954
Início das Aquisições:	Data: 14/09/2019 Horário: 16:00:00
Final das Aquisições:	Data: 21/09/2019 Horário: 16:00:00
Momento da coleta:	sábado, 21 de setembro de 2019 às 13:08:50
Primeira aquisição:	sábado, 14 de setembro de 2019 às 16:02:00

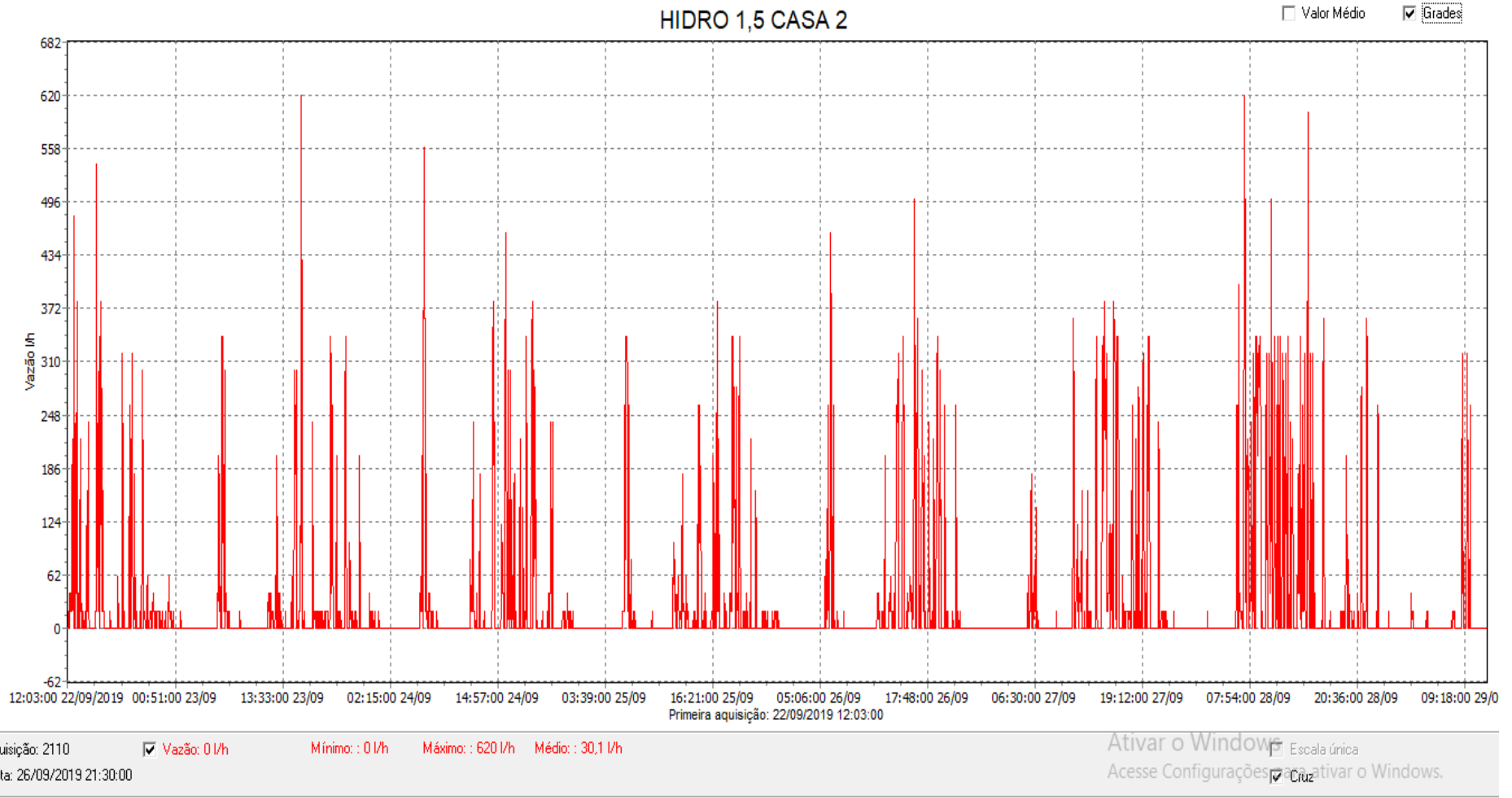
Fonte: Próprio autor (2019).

Os hidrômetros velocimétricos classe B de vazão nominal de 0,75 m³/h que está instalado na residência tem seu início de funcionamento a partir de 15 L/h, em vazões menores que essa ele pode apresentar erros submedição.

Devido ocorrência de conexão invertida da polaridade da conexão do registrador de dados ao sensor de saída pulsada não foi possível a coleta de dados do hidrômetro Qn 2,5 m³/h na casa 1.

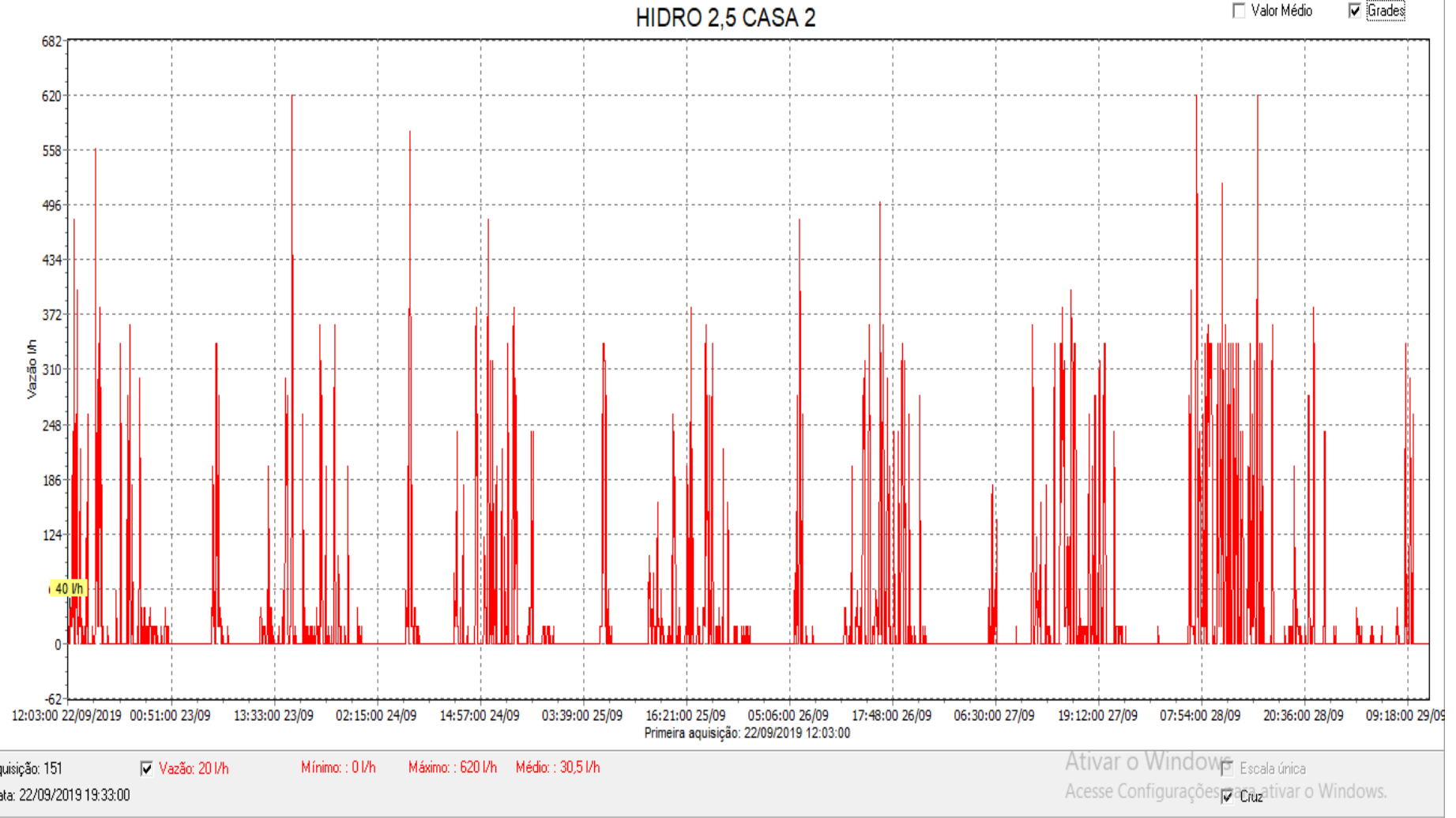
Pode-se observar nas figuras 35 e 36 acima que a representação gráfica do consumo da casa 2 são praticamente as mesmas os hidrômetros de Qn 1,5 e 2,5 m³/h.

Figura 35 - Gráfico de consumo casa 2 hidrômetros Qn 1,5 m³/h



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 36 - Gráfico de consumo casa 2, hidrômetro Qn 2,5 m³/h



Fonte: Próprio autor (2019).

A casa 2 tem uma área construída de aproximadamente 130 m², são quatro moradores no domicílio e o consumo mensal da residência é de 23 m³/mês, a residência tem um hidrômetro instalado de 0,75 m³/h de capacidade de vazão nominal. A água que escoar pelo hidrômetro passa por uma torneira de água direta casa é abastecida por um reservatório de 500 litros de fibra de cimento amianto, as instalações da residência contam com uma torneira de água direta, o restante da casa tem seu abastecimento feito de forma indireta, onde sua área de serviço é equipada com três torneiras, a cozinha tem uma torneira e o banheiro é equipado com o chuveiro, lavatório e vaso sanitário com caixa acoplada.

Considerando-se 168 horas de aquisições o programa LogChart 2 calculou uma vazão média de 30,5 L/h, no entanto, o programa desconsidera as horas em que não há consumo, então retirando-se essas horas do gráfico da casa 2 obteve-se um total de 132 horas de consumo e uma quantidade registrada de 5,132 m³, com isso a vazão média subiu para 38,9 L/h.

O intervalo entre aquisições dos hidrômetros instalados na casa 2 foi de 3 em 3 minutos como demonstrado na figura 37, aumentando assim o detalhamento das informações uma vez que se diminui o fator de escala para 20 L/h, ou seja, se o medidor registrar 4 litros de água no intervalo de 3 minutos a vazão por hora será registrada em 80 L/h.

Figura 37 - Dados de aquisição casa 1 hidrômetro Qn 1,5 m³/h

Informações Gerais	
Registrador	
Modelo:	LogBox-DA
Número de Série:	17718449
Versão do Firmware:	1.14
Capacidade da Memória:	65532 aquisições
Vazão [l/h]	
Entrada:	Contato Seco
Valor:	Aquisições por valor instantâneo
Fator do Medidor:	1
Fator de Escala:	20
Offset:	0
Alarme Inferior:	Indefinido
Alarme Superior:	Indefinido
Fórmula:	None
Informações da Coleta	
Título:	HIDRO 1,5 CASA 2
Intervalo entre aquisições:	3 min
Número total de aquisições:	3360
Início das Aquisições:	Data: 22/09/2019 Horário: 12:00:00
Final das Aquisições:	Data: 29/09/2019 Horário: 12:00:00
Momento da coleta:	segunda-feira, 30 de setembro de 2019 às 13:55:15
Primeira aquisição:	domingo, 22 de setembro de 2019 às 12:03:00

Fonte: Próprio autor (2019).

A casa 3 tem uma área construída de aproximadamente 80 m², são quatro moradores no domicílio e o consumo mensal da residência é de 18 m³/mês, a residência tem um hidrômetro instalado de 1,5 m³/h de capacidade de vazão nominal. A água que escoo pelo hidrômetro passa por uma torneira de água direta e alimenta a válvula boia, a casa é abastecida por um reservatório de 500 litros de polietileno, as instalações da residência contam com uma torneira de água direta, o restante da casa tem seu abastecimento feito de forma indireta, onde sua área de serviço é equipada com duas torneiras, a cozinha tem uma torneira e o banheiro é equipado com o chuveiro, lavatório e vaso sanitário com caixa acoplada.

Conforme observado anteriormente na figura 30, o tempo de aquisição na casa 3 assim como na casa 2 é de 3 em 3 minutos, o medidor ficou instalado na residência durante 7 dias em que o tempo com consumo foi de 141 horas sendo registrado 4,086 m³, assim foi encontrado uma vazão média de 28,97 L/h. Esse valor fica abaixo do valor da vazão de início de funcionamento do hidrômetro de Qn 1,5 m³/h que é de 30 l/h, apesar da vazão média ser baixa em relação à vazão mínima do hidrômetro, o registro de submedição ficou baixo se comparado aos medidores volumétricos instalados na residência conforme demonstrado na tabela 5 no capítulo seguinte.

3.2.3 Estudo de interferência da inclinação lateral dos hidrômetros na medição.

Conforme exposto no capítulo 2, os hidrômetros de classe B, os mais utilizados pelas empresas de saneamento do Brasil são os do tipo monojato e multijato. Esse tipo de hidrômetro é equipado com relojoaria interna que basicamente é formada por eixos e engrenagens, o que a torna sensível e propensos a erros de submedição em inclinações superiores a 5 graus. Tendo em vista a busca de um resultado mais preciso uma vez que a inclinação pode contribuir significativamente para os valores de submedição dos hidrômetros, foram realizadas medições dos ângulos de inclinação de uma parcela de hidrômetros da cidade de Pirenópolis. Para encontrar um ângulo médio de inclinação visando a realização do teste de vazão em bancada foram analisadas 2% das contas existentes na cidade, o que equivale a um total de 161 ligações. As análises desses ângulos foram realizadas com auxílio de um aparelho eletrônico de medição de inclinação lateral dos hidrômetros instalados conforme figura 38.

A realização da coleta dos ângulos de inclinação lateral foi feita de forma aleatória livre, buscando alcançar de forma uniforme toda extensão da cidade.

Figura 38 - Medição de inclinação Lateral de Hidrômetros



Fonte: Próprio autor (2019).

A proposta inicial da pesquisa tinha como foco a realização do ensaio de bancada utilizando o ângulo médio encontrado nos hidrômetros anteriormente testados. A diferença do IDM encontrado no teste entre a posição inclinada e posição normal seria utilizada como incremento na conclusão deste trabalho. Porém, problemas de falta de pessoal na data determinada para realização do teste devido pandemia do covid-19, não viabilizou sua realização.

4 RESULTADOS

Para uma melhor explanação dos resultados, foi feita uma interação entre os métodos utilizados para coleta de dados e a relevância que cada um tem para que fosse possível expressar de forma mais sucinta a conclusão alcançada.

4.1 TESTE DE VAZÃO

Os hidrômetros coletados para realização do teste de vazão realizado no laboratório de hidrometria da Saneago demonstraram que as perdas por submedição da cidade em estudo foi resultado de uma média ponderada de 11,78%. Conforme exposto no capítulo anterior o teste de vazão foi realizado em quarenta hidrômetros de várias marcas, classe metrológica B e vazões nominais de 0,75 e 1,5 m³/h.

Ao se analisar os gráficos de consumo do teste de vazão realizados nas três residências da cidade em estudo exemplificado na figura 41 onde foram retirados do total de horas do teste as horas em que não houve consumo, observou-se que a média de horas sem que há efetivamente consumo fica em torno 111 horas por semana. Considerando um consumo de 10 m³/mês tem-se uma vazão média de 21 L/h. Com vazões menores a tendência é de se diminuir ainda mais a vazão média.

A faixa de consumo de 0 a 10 m³/mês equivale a 46% do total do total de consumidores além de representar 51,3% do total do volume consumido na cidade. Ao analisar a figura 24 do capítulo anterior que demonstra a relação de capacidade de hidrômetros com faixa de consumo de 0 a 10 m³/h, observou-se que os hidrômetros de vazão nominal 1,5m³/h equivalem a 56% do total de hidrômetro dessa faixa, esses hidrômetros tem uma vazão mínima para início de funcionamento de 30 L/h o que fica bem acima da vazão média encontrada nos testes de vazão das quatro residências analisadas. Os hidrômetros de 0,75 m³/h são os mais apropriados para essa faixa de consumo devido a suas menores vazões de início de funcionamento, porém, apenas 44% dos hidrômetros da faixa de consumo de 0 a 10 m³/h são de vazão nominal de 0,75 m³/h.

A faixa de consumo de 10 a 20 m³/mês equivale a 34% do total de consumidores e 33,6% do volume produzido na cidade, considerando uma vazão média de 15m³/mês e obtém-se um total de 111 horas semanais de consumo efetivo nas residências encontra-se uma vazão de 31 L/h. Os hidrômetros de vazão nominal 0,75 m³/h representa 50% e o de vazão nominal de 1,5 m³/h 50%, quando se tem uma vazão média de 31 L/h as vazões mínimas ficam em

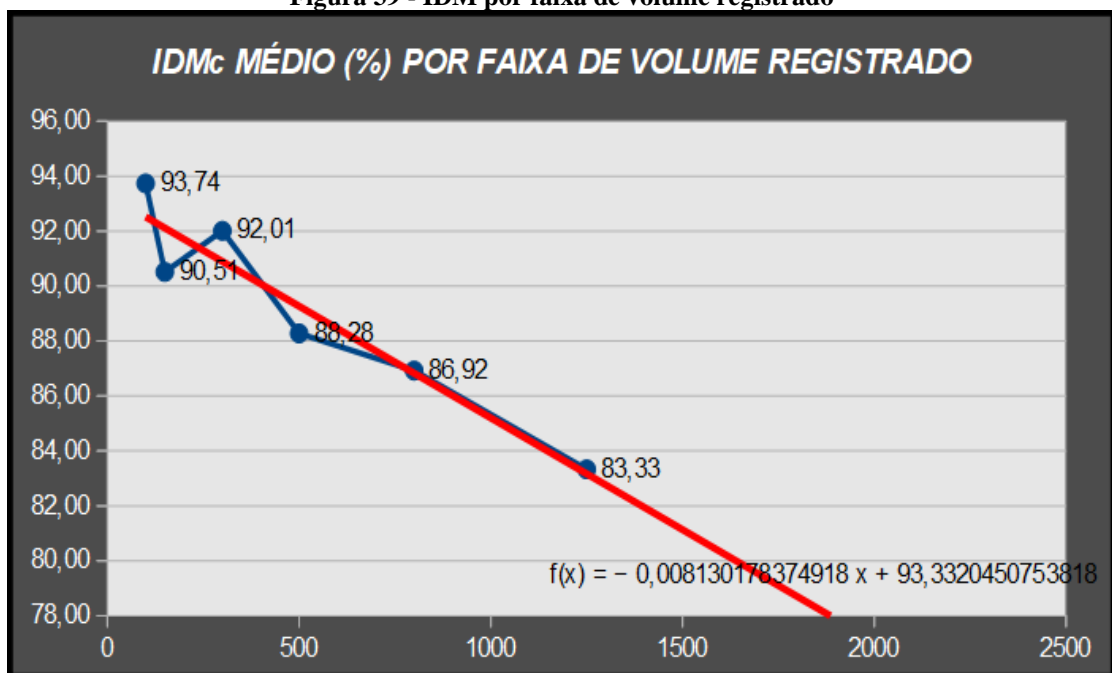
valores inferiores a isso, portanto o hidrômetro mais apropriado para essa faixa também seria na maioria de 0,75 m³/h.

A faixa de consumo de 20 a 50 m³/mês equivale a 16% do total de consumidores, onde 61% desses consumidores contam com medidores de capacidade 0,75 m³/h, se considerarmos uma média de 35 m³/mês teríamos uma vazão média de 73 L/h, portanto o hidrômetro mais apropriado para essa faixa também seria na maioria de 0,75 m³/h. com a ressalva de alguns casos específicos de consumos próximos dos 20 m³/mês que podem atingir vazões máximas superiores a 1,5 m³/h.

Considerando que, em consumos menores as vazões são menores, isso combinado com a utilização de caixas de água em 59% dos domicílios da cidade como observado na figura 22 do capítulo 3, pode-se observar que há uma distorção no dimensionamento em todas as faixas de consumo analisadas.

Pequenas vazões são um dos fatores que podem contribuir para funcionamento incorreto do medidor, o que pode ocasionar erros por submedição. Isso se combinado a fatores como desgaste das engrenagens dos medidores devido a qualidade da água ou até mesmo por efeito vazões maiores que as estabelecidas para a capacidade do medidor e também a inclinação lateral dos mesmos pode potencializar ainda mais essa perda por erro de medição. A figura 39 demonstra o gráfico do índice de desempenho de medição IDM por faixa de volume registrado.

Figura 39 - IDM por faixa de volume registrado

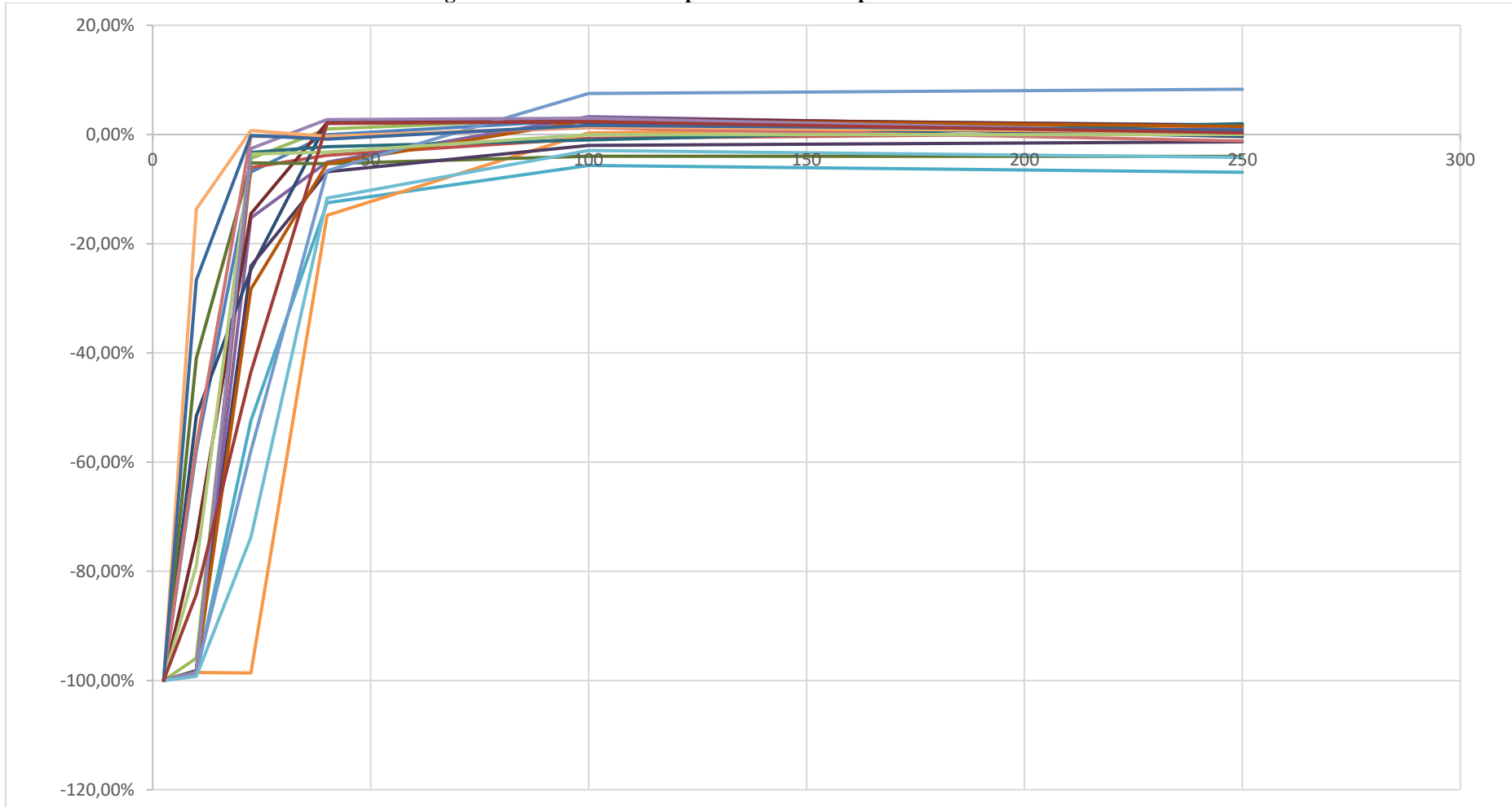


Fonte: Andrade 2019.

A figura 40 demonstra o gráfico das seis primeiras vazões aplicadas no teste de vazão no laboratório de hidrometria para os 40 hidrômetros testados conforme NBR 15538/2014. Os hidrômetros analisados são todos de classe metrológica B, de fabricantes diversos e do total de 40 hidrômetros, 20 são de Qn 0,75 e 20 são de Qn 1,5. Segundo a NBR 15538/2014 para o intervalo de vazão de 0 a 5 L/h que representa um perfil de consumo de 4,56% médio da população tem vazão de teste de 2,5 L/h. Todos os hidrômetros sem exceção IDM índice de desempenho de medição de 0%, ou seja, 100% de erro por submedição. Para o intervalo de vazão de 5 a 15 L/h a vazão de teste é de 10 L/h. Para essa vazão de teste a média de todos os hidrômetros foi de 79,38% de erro submedição. Para o intervalo de vazão de 15 a 30 L/h a vazão de teste é de 22,5 L/h. Para essa vazão de teste a média de todos os hidrômetros foi de 25,34% de erro por submedição. Para o intervalo de vazão de 30 a 50 L/h a vazão de teste é de 40 L/h. Para essa vazão de teste a média de todos hidrômetros ensaiados foi de 4%.

Os resultados encontrados através do teste de vazão se mostraram satisfatórios por serem aplicados em hidrômetros em uso com IDM de 88,22%, apesar de a NBR 15538/2014 expressar que as vazões de teste para aferição dos medidores atender as vazões menores ocasionadas por caixas d'água, o estudo não considerou o incremento nas perdas ocasionado pela inclinação lateral.

Figura 40 - Gráfico das seis primeiras vazões aplicadas no teste de vazão



Fonte: Próprio autor (2019).

4.2 INCLINAÇÃO LATERAL

Foram feitas medições em 161 ligações de água da cidade de Pirenópolis, o que representa uma amostra de 2% do total de ligações. O método utilizado para realização da pesquisa foi de forma aleatória livre, onde foi utilizado um inclinômetro digital para coletar os dados de inclinação. O resultado da inclinação lateral dos medidores foi uma média aritmética de $8,93^\circ$, valor acima da inclinação máxima que é de 5° conforme referenciado no capítulo 2 deste trabalho. A figura 41 demonstra momento da coleta da inclinação lateral dos medidores.

Figura 41 – Coleta de dados inclinação lateral



Fonte: Próprio autor (2019).

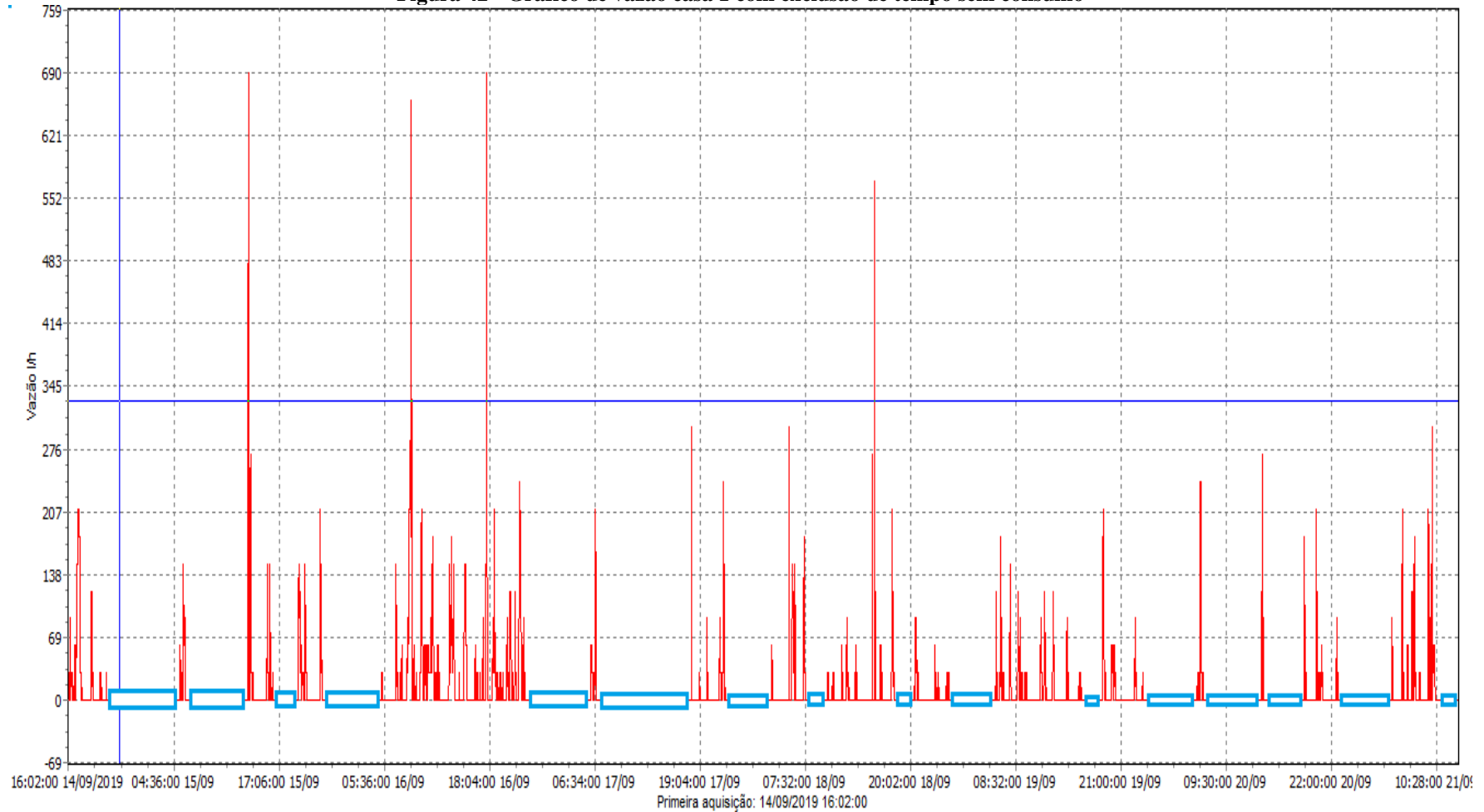
4.3 TESTE DE VAZÃO TRÊS CASAS

Ao se analisar os gráficos de consumo do teste de vazão realizados nas três residências da cidade em estudo, observou-se que a média de horas sem que há efetivamente consumo fica em torno 111 horas por semana, considerando um consumo de $10 \text{ m}^3/\text{mês}$ tem-se uma vazão média de 21 L/h .

O cálculo para exclusão das horas em que efetivamente não houve consumo nas residências estudadas foi feito com base nos dados do gráfico do teste de vazão. Não havendo pulso magnético do medidor o que significa que não há vazão de consumo. A NBR 15538/2014 recomenda que sejam retirados os tempos com longa pausa de registro.

O valor utilizado de tempo para direcionar os estudos de vazão nesse trabalho foi a média dos tempos totais excetuando-se os tempos em que não houve consumo nas 3 residências estudadas. A figura 42 demonstra o gráfico de vazão do medidor Qn $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ instalado na casa 1 onde observa-se os retângulos de cor azul que indica os tempos que foram excluídos do tempo total do teste.

Figura 42 - Gráfico de vazão casa 1 com exclusão de tempo sem consumo



Fonte: Próprio autor (2019).

O cálculo para retirada de horas em que não houve consumo foi realizado através da análise dos gráficos determinando em milímetros o valor de uma hora de teste e em seguida a medição do total em que não houve consumo em intervalos maiores que 15 minutos.

Os resultados alcançados no teste de vazão das três residências estudadas estão expostos na tabela 5, onde, a casa 1 teve uma perda média por submedição em relação aos medidores volumétricos de 14,48%, já a casa 2, a perda média foi de 0,55% e na casa 3 a perda média foi de 3,89%. Esses volumes se referem a sete dias de consumo em cada casa analisada.

Tabela 5 – Teste de vazão casas 1, 2 e 3

Leituras medidores teste vazão casa 1, 2, 3 e 4										
		Marca	Qn (m ³ /h)	Tipo	Leitura Atual	Leitura Anterior	V. Total (m ³)	Δ 1,5 m ³ /h (%)	Δ 2,5 m ³ /h (%)	Δ Erro Med. (%)
Casa 1	Medidor Saneago	FAE	0,75	Turbina	871,51	870,09	1,42	-13,68	-15,27	-14,48
	Medidor Teste	ALTAIR	1,5	Volumétrico	5024,616	5022,971	1,645	-	-	-
	Medidor Teste	ALTAIR	2,5	Volumétrico	7,102	5,426	1,676	-	-	-
		Marca	Qn (m ³ /h)	Tipo	Leitura Atual	Leitura Anterior	V. Total (m ³)	Δ 1,5 m ³ /h (%)	Δ 2,5 m ³ /h (%)	Δ Erro Med. (%)
Casa 2	Medidor Saneago	LAO	0,75	Turbina	783,19	778,05	5,14	0,16	-1,25	-0,55
	Medidor Teste	ALTAIR	1,5	Volumétrico	5029,748	5024,616	5,132	-	-	-
	Medidor Teste	ALTAIR	2,5	Volumétrico	12,307	7,102	5,205	-	-	-
		Marca	Qn (m ³ /h)	Tipo	Leitura Atual	Leitura Anterior	V. Total (m ³)	Δ 1,5 m ³ /h (%)	Δ 2,5 m ³ /h (%)	Δ Erro Med. (%)
Casa 3	Medidor Saneago	LAO	1,5	Turbina	1123,91	1120	3,91	-4,31	-3,48	-3,89
	Medidor Teste	ALTAIR	1,5	Volumétrico	5033,834	5029,748	4,086	-	-	-
	Medidor Teste	ALTAIR	2,5	Volumétrico	16,358	12,307	4,051	-	-	-

Fonte: Próprio autor (2019).

Tendo por referência o consumo de uma semana de realização dos testes nas residências, encontramos uma previsão de consumo para casa 1 de 6,09 m³/mês, já a casa 2 tem uma previsão de consumo de 22,02 m³/mês e a casa 3 fica com uma previsão de consumo de 16,75 m³/mês. Esses dados confirmam a tese de que, quanto menor o consumo mensal da residência menor é a vazão que escoar pelos medidores e maior os erros registrados por submedição dos medidores classe B, os mais utilizados por empresas de saneamento no Brasil.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Procurar métodos de quantificar uma parcela das perdas de água do balanço hídrico de um sistema contribui para que possa haver uma melhoria contínua nos processos de combate ao desperdício de água. Desmembrar a problemática das perdas em parte mais pontuais facilita a aplicação de técnicas e métodos contínuos para que haja diminuição gradativa no desperdício de água.

As perdas aparentes em geral compõem uma parte significativa no total das perdas de um sistema. Portanto, é de suma importância que se possa mensurar de forma mais ampla com maiores possibilidades de acerto para que seja possível analisar o comportamento do sistema de forma mais segura e buscando uma atuação mais focada nas melhorias diminuindo os pontos fracos do sistema.

Os testes relizados foram fundamentados em normas, relatórios técnicos, publicações, legislações, teses, entre outros documentos que tornaram possível a execução do estudo.

O teste de vazão realizado no laboratório de hidrometria da SANEAGO definiu um percentual para as perdas por submedição nos hidrômetros da cidade em estudo demonstrando que é possível mensurar quantitativos de perdas. O que torna possível o planejamento de ações e métodos de intervenções buscando a melhorias do sistema.

Diretamente relacionado as perdas por submedição, temos também as perdas ocasionadas pelos reservatórios de água domiciliares. Apesar de as vazões de teste considerarem o uso desses reservatórios, ainda há uma margem considerável de campo para ser estudada de contas nessa situação. Notou-se que 59% dos domicílios da cidade de Pirenópolis tem caixas d'água, e não há dados sobre que percentual do total de imóveis que tem em suas instalações acionamento de descarga por caixa acoplada ao vaso sanitário. Outro ponto relevante da pesquisa é a interferência da inclinação lateral dos hidrômetros instalados nos domicílios, o que pode colaborar para um incremento nas perdas ocasionadas por submedição devido o método construtivo dos hidrômetros classe B, mais comumente utilizados pelas companhias de saneamento do Brasil.

Os estudos sugerem que, para o caso específico da cidade de Pirenópolis, sejam dados mais ênfase à coleta de dados de alimentação do sistema de maneira que possa ser coletado mais informações buscando esclarecer melhor as questões em relação à uso abastecimento direto, indireto ou misto, para o caso de abastecimento misto, quais pontos seriam abastecidos de forma direta e indireta, para todas as formas de abastecimento, quais imóveis teriam caixas

acopladas em seus vasos sanitários. Outro ponto importante sugerido por esse estudo é a realização de métodos que possam ajudar no dimensionamento mais preciso dos medidores que estão instalados na cidade. Observou-se que entre as vazões mais baixas, a maioria dos hidrômetros são de capacidade de vazão nominal 1,5 m³/h e entre as vazões mais altas a maior parcela de hidrômetros instalados são de 0,75 m³/h.

Além do redimensionamento dos hidrômetros do sistema conta por conta se faz necessário também a adoção de métodos de dimensionamento de hidrômetros para novas contas. Também buscar adotar métodos para extrair do sistema de forma cíclica dos dados de alteração dos imóveis em relação a reformas, demolição, construção, ampliação, desmembramentos, entre outros fatores que contribuem para um dimensionamento correto do medidor.

Outro ponto importante que pode contribuir muito para submedição de água em um sistema, e que é pouco abordado em estudos na área, é em relação à influência da inclinação lateral dos medidores. A maioria das empresas de saneamento terceirizam o serviço de coleta de leitura para fins de faturamento mensal do sistema, e em muitos casos esses serviços executados sem que haja um treinamento específico quanto à importância de se manter os medidores em inclinação próxima de 0°.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15538**: Medidores de água potável — Ensaios para avaliação de eficiência. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 24 p.
- ALEGRE, H.; HIRNER, W.; Baptista, J.; PARENA R.. 2000. Performance Indicators for Water Supply Services. Manual of Best Practice series. London: IWA Publishing.
- Allan Lambert et al, **Managing Water Leakage**. Financial Times Energy, 1998.
- Alves, W. C. et al (2004). **Micromedição. Documento Técnico de Apoio n° D3**. Ministério das Cidades. Plano Nacional de Combate ao Desperdício de água. Brasília, DF, 171 p.
- ALVES, Wolney Castilho et al. **MACROMEDIÇÃO**. Brasília: Brasil, 1999. 48 p.
- American Water Works Association, **Manual of Water Supply Practices M36, Water Audits and Loss Control Programs**, 4° ed., 2016.
- American Water Works Association, **Manual of Water Supply Practices M36, Water Audits and Loss Control Programs**, 3° ed., 2009.
- ARREGUI, F., CABRERA Jr., E, COBACHO, R., GARCIA-SERRA, J. (2005). **Key Factor affecting Water Meter Accuracy Leakage 2005**. Anais do Leakage 2005 do IWA, 90-99, Halyfax, Nova Scotia, Canada.
- ARREGUI, F., CABRERA Jr., E; COBACHO, R. **Integrate water meter magnamente**. London: IWA Publishing, 2006. 272 p.
- AQUINO, Vicente de. A luta para combater as perdas de água. **Revista Saneas**: Controle e redução de perdas, São Paulo, v. 27, n. 9, p.05-16, set. 2007. Bimestral. Disponível em: <<http://aesabesp.org.br/arquivos/saneas/saneas27.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 212: Estabelecer características metrológicas para medidores de água fria**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- BOVO, Alberto et al. **Controle e redução de perdas aparentes: Processo comercial**. 6. ed. São Paulo: Brasil, 2008. 138 p.
- BRASIL. Saneamento Básico n° 11.445/2007, de 05 de janeiro de 2007. . Brasília, 08 dez. 2017. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/oficina-escassez-hidrica/legislacao-sobre-escassez-hidrica/uniao/lei-no-11-445-2007-saneamento-basico/view>>. Acesso em: 22 set. 2018.
- BUTLER D. **Leakage Detection and Management**. UK Palmer Environmental, 2000.
- CASTRO, J. D. **Tudo sobre medidores de água**. Lima: Indecopi, 2004. 232 p.
- COBACHO, R., ARREGUI, F., CABRERA, E. e CABRERA, E. Jr (2007). **Private Water Storage Tanks: Evaluating Their Inefficiencies**. Efficient 2007: 4° IWA Specilised Conference on Efficient Use of Urban Supply, Jeju Island, Korea, 8p.

COELHO, C. C. **Micromedição em sistema de abastecimento de água.** João Pessoa: Editora Universitária da UFBP, 2009. 348 p.

GONÇALVES, E., LIMA C. V. **Controle de Pressão e Operação de Válvulas Redutoras de Pressão. Guias Práticos – Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água.** Brasil. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. 65 p. Brasília, 2007.

GONÇALVES, E. **Metodologias para Controle de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água – Estudo de Casos da CAESB.** Dissertação de mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília. Brasília, 1998.

IBGE. Projeção da População. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box_popclock.php>. Acesso em: 22 set. 2018.

IBGE. Projeção da população. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/pirenopolis/panorama>>. Acesso em: 19 maio 2020.

INMETRO. Portaria nº 246, de 29 de junho de 2018. **Regulamento Técnico Metrológico:** Estabelecendo as condições a que devem satisfazer os hidrômetros para água fria, de vazão nominal até quinze metros cúbicos por hora. Duque de Caxias, RJ, 17 out. 2000.

Leão, N. F. Et al (2007). **A importância da implantação de um projeto de micromedição para o desenvolvimento de uma política de gestão, controle e redução de perdas.** Anais do 24º Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

MELLO, E. J. (2000). **As perdas não físicas e o posicionamento do medidor de água.** Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

MIRANDA, Ernani Ciríaco de. Os níveis de perdas no Brasil ainda são elevados. **Revista Saneas: Controle e redução de perdas,** São Paulo, v. 27, n. 9, p.17-22, set. 2007. Bimestral. Disponível em: <<http://aesabesp.org.br/arquivos/saneas/saneas27.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2018.

MALE, J.H., NOSS, R.R., MOORE, I.C. **Identifying and Reducing Losses in Water Distribution Systems.** Noyes Publications. 1985.

Mendonça, S. R. (1975). **“Manual do Reparador de Medidores de Água”.** BNH/ABES/SETESB, São Paulo, Brasil, 178 p.

Nielsen, M. J. et al (2003). **Medição de Água, Estratégias e Experimentações.** Companhia de Saneamento do Paraná, Paraná, Brasil, 220 p.

OLIVEIRA, Gesner; SCAZUFCA, Pedro; PIRES, Rodrigo Cintra. **PERDAS DE ÁGUA 2018 (SNIS 2016): DESAFIOS PARA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E AVANÇO DA**

EFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO. São Paulo: Go Associados, 2018. 68 p. Disponível em: <www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2018.

ONUBR. Brasil perde R\$10,5 bilhões em desperdício de água na distribuição, revela Pacto Global. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/brasil-perde-r-105-bilhoes-em-desperdicio-de-agua-na-distribuicao-revela-pacto-global/>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; MARTINS, Getúlio (Ed.). Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005.

SABESP. **Controle de Perdas**. 2018. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

SABESP. **Apostila do Curso de Perdas**. São Paulo; SABESP, 2005.

SANCHES, J. G. (2000). **Estimativa de volume de água não medidos por perda de exatidão nos hidrômetros, na cidade de Juazeiro – BA**. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

SEMINÁRIO NACIONAL DE GESTÃO E CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA, 1., 2015, Porto Alegre. **CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS NOS SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**. São Paulo: Abes, 2015. 91 p. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf>. Acesso em: 04 out. 2018.

SILVA, Nilse Regina da. **Estudos de Metodologias Para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares Em Sistemas de Água**. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6205/1/2008_NilceReginadaSilva.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2018.

SILVA, R.T. et al. **Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**. Documento Técnico de Apoio nº A2. Presidência da República. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, 1998.

SNIS. Aplicação web Série Histórica. 2015. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016 (Revisado em 2018). Brasília: Ministério das Cidades, 2016. 220 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SOARES, D. Estudo da Precisão e Confiabilidade Estatística da Macromedição da Unidade de Negócios Leste da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. ABES. São Paulo, 2000.

TARDELLI FILHO, Jairo. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. Revista Dae, [s.l.], v. 64, n. 201, p.6-20, jan. 2016. Editora Cubo

Multimidia. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2015.012>. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_201_n_1622.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2018.

TARDELLI FILHO, Jairo. CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS NOS SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GESTÃO E CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA, 1., 2015, Porto Alegre. Anais... . São Paulo: Abes, 2015. p. 1 - 99. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2018.

THORNTON, Julian. **Water Audits and Loss Control Programs**: Manual of Water Supply Practices M36. 3. ed. Denver: American Water Works Association, 2009. 285 p. Disponível em: <<http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2018/04/AWWA-M36-Water-Audits-and-Loss-Control-Programs-3rd-Ed-2009-1.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2018.

THORNTON, Julian; STURM, Reinhard; KUNKEL, George. **Water Loss Control**. 2. ed. New York: Mc Graw Hill, 2002. 632 p.

THORNTON, J. e RIZZO, A. (2002). **Apparent Losses, How Low Can You Go?** Leakage Management Conference Proceedings do International Water Associations (IWA), Chipre.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; TARDELLI FILHO, Jairo. Abastecimento de Água. 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Universidade / UFRGS, 2001.

TUNDISI, José Galizia. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. São Paulo: Usp, 2006. 12 p. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13529/15347>>. Acesso em: 04 set. 2018.

VICENTINI, Liliana Pedroso. **Componentes do balanço hídrico para avaliação das perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde.../Dissertacao_Perdas_LPV.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2018.

YOSHIMOTO, P.M. et al. **Controle da Pressão na Rede**. Documento Técnico de Apoio nº D1. Presidência da República. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, 1999.