



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS



Genilson Gomes Felinto Filho

SISTEMA AUTOMATIZADO DE MACROMEDIÇÃO PARA REDES DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Campina Grande

2023

Genilson Gomes Felinto Filho

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE MACROMEDIÇÃO PARA REDES DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Recursos Naturais, pela Universidade Federal de Campina Grande, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Dayse Luna Barbosa

Campina Grande
2023

F315s

Felinto Filho, Genilson Gomes.

Sistema automatizado de macromedição para redes de abastecimento de água / Genilson Gomes Felinto Filho. – Campina Grande, 2023.

81 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa".

Referências.

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Gestão da Demanda de Água. 3. Redução de Perdas – Água. 4. Automação – Sistema de Macromedição de Água. I. Barbosa, Dayse Luna. II. Título.

CDU 556.18(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP
58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

GENILSON GOMES FELINTO FILHO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE MACROMEDIÇÃO PARA REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 14/09/2023

Prof.^a Dra.^a Dayse Luna Barbosa/UFCG (Orientador PPGEGRN).
Prof.^a Dra.^a Andrea Carla Lima Rodrigues/UAEC/UFCG (Examinador Interno).
Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos/UAEC/UFCG (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **DAYSE LUNA BARBOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/09/2023, às 17:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDREA CARLA LIMA RODRIGUES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/09/2023, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VALTERLIN DA SILVA SANTOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/10/2023, às 22:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3757045** e o código CRC **76A0DC63**.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS

Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO/TESE

Ata da Vigésima Terceira sessão pública de Defesa de **Dissertação** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao Décimo quarto dia do mês de setembro de 2023, às **16:00** horas, **em formato presencial** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação "Stricto Sensu" da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a) Dr.(a) **Prof.ª Dra.ª Dayse Luna Barbosa**, como orientador(a) principal; Prof.(a.) Dr.(a.) **Andréa Carla Lima Rodrigues/UAEC/PPGEGRN** como membro interno e Prof.(a.) Dr.(a) **Valterlin da Silva Santos/UAEC/UFCG** como membro externo, a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 55/2023** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Sr(a) Genilson Gomes Felinto Filho** candidato(a) ao Grau de **Mestre** em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr(a). **Dayse Luna Barbosa**, anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da Dissertação sob o título: "**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE MACROMEDIÇÃO PARA REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.**" Área de Concentração: **Engenharia de Recursos Naturais**, orientada pelo(a) Professor(a) Dra. **Dayse Luna Barbosa**. O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembléia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em

Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO**, o qual será atribuído após o(a) candidato(a), no prazo máximo de 30 (trinta) dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande,
14 de setembro de 2023.

Assinaturas:

Coordenadora do PPGEGRN _____

Candidato(a) _____

Presidente _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____



Documento assinado eletronicamente por **DAYSE LUNA BARBOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/09/2023, às 17:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDREA CARLA LIMA RODRIGUES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/09/2023, às 11:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Genilson Gomes Felinto Filho, Usuário Externo**, em 30/09/2023, às 14:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VALTERLIN DA SILVA SANTOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/10/2023, às 22:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, VICE-COORDENADOR**, em 16/10/2023, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3757038** e o código CRC **8AF8D050**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Senhor Jesus Cristo, fonte da água viva, pela salvação e fortalecimento para enfrentar os desafios que a vida impõe. Glória seja dada a Ele!

Agradeço à minha família pelo apoio irrestrito dado ao longo de toda a minha trajetória acadêmica, e à minha amada, Alessandra, por me fazer enxergar um propósito em perseverar na busca pela conclusão deste trabalho. Também ao meu amigo Alfredo Neto por me incentivar a continuar.

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Dayse Luna Barbosa, por todo o conhecimento comigo compartilhado e por todas as orientações, bem como a Igor Brandão e Maressa Brandão, que tanto cooperaram para o sucesso deste trabalho. Sem vocês eu não teria chegado até aqui.

Agradeço aos técnicos do Laboratório de Hidráulica I, Edmilson e Ismael, pela cooperação com os experimentos realizados e por todo o compartilhamento de conhecimento.

A todos que, direta ou indiretamente, cooperaram com esta conquista: muito obrigado!

“Porque dele, e por meio dele, e para ele são todas as coisas. A ele, pois, a glória eternamente. Amém!” (Paulo, Romanos 11.36)

RESUMO

A escassez de água vivenciada em várias partes do planeta demanda o desenvolvimento rápido de novas tecnologias destinadas à preservação deste recurso. Como instrumento de combate ao desperdício, a medição do consumo é uma excelente ferramenta, e, especificamente, a macromedição em redes de abastecimento serve para reduzir o índice de perdas na distribuição e detectar anomalias no consumo. Porém, tem-se que os instrumentos utilizados para tal fim ainda possuem custo elevado, o que diminui o alcance de sua utilização. Em busca de fornecer uma ferramenta eficiente e menos onerosa destinada à macromedição para aplicação em redes de abastecimento, neste trabalho foi desenvolvido um sistema automatizado de macromedição, utilizando a placa controladora NodeMCU 1.0 e o sensor de fluxo YF-DN50, possibilitando o acompanhamento remoto do consumo de água. O medidor foi calibrado em laboratório para se obter um novo fator de conversão pulsos/litro, sendo posteriormente instalado em um sub-ramal da rede de abastecimento do campus sede da UFCG, que atende aos blocos CQ e CR. Para comparação de valores, foram instalados micromedidores nos pontos de entrada de água de ambos os blocos. Escolheu-se, para o armazenamento e acompanhamento dos dados, a plataforma online *ThingSpeak*. Foi possível com isso desenvolver um sistema de baixo custo e fácil aplicação. Além disso, após dois meses de medições, obteve-se um padrão de consumo do sub-ramal, detectando períodos de reabastecimento dos reservatórios dos blocos, dia de maior consumo e usos de água na parte externa das edificações, não medidos pelos micromedidores. O sistema desenvolvido possui amplo potencial para aplicação no monitoramento de vazões e consumo em redes de abastecimento e representa um passo significativo na busca por soluções acessíveis e eficazes para a preservação de recursos hídricos em um mundo onde a escassez de água é uma realidade crescente.

Palavras-chave: Gestão da demanda de água; redução de perdas; automação.

ABSTRACT

The water scarcity experienced in various parts of the planet demands the rapid development of new technologies aimed at preserving this resource. As a tool to combat waste, consumption measurement is an excellent tool, and specifically, macro-measurement in supply networks serves to reduce loss rates in distribution and detect anomalies in consumption. However, the instruments used for this purpose still have a high cost, which limits their widespread use. In an effort to provide an efficient and less expensive tool for macro-measurement to be applied in supply networks, this work sought to develop an automated macro-measurement system using the NodeMCU 1.0 controller and the YF-DN50 flow sensor, enabling remote monitoring of water consumption. The meter was calibrated in the laboratory to obtain a new conversion factor pulses/liter and was subsequently installed in a sub-branch of the water supply network at the main campus of UFCG, serving the CQ and CR buildings. For value comparison, micrometers were also installed at the water entry points of both buildings. The online ThingSpeak platform was chosen for data storage and monitoring. This allowed the development of a low-cost and easily applicable system. Additionally, after two months of measurements, a consumption pattern for the sub-branch was obtained, detecting reservoir replenishment periods for the buildings, peak consumption days, and water usage outside the buildings not measured by the micrometers. The developed system has broad potential for monitoring flow rates and consumption in supply networks and represents a significant step towards affordable and effective solutions for preserving water resources in a world where water scarcity is a growing reality.

Keywords: Water management; water loss reduction; automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa da seca na região nordeste em 2015.....	21
Figura 2 – Evolução dos volumes do Açude Epitácio Pessoa de 2012 a 2019	22
Figura 3 – Etapas da metodologia	40
Figura 4 – Placa microcontroladora NodeMCU 1.0 (Esp-12E)	41
Figura 5 – Sensor YF-DN50.....	42
Figura 6 – Vista interna do sensor	42
Figura 7 – Dimensões do sensor YF-DN50.....	42
Figura 8 – Sensor de fluxo YF-S201	45
Figura 9 – Protótipo desenvolvido.....	45
Figura 10 – Fluxograma de funcionamento do código implementado.....	47
Figura 11 – Sensor instalado na tubulação	50
Figura 12 – Caixa para medição da vazão volumétrica.....	50
Figura 13 – Esquematização do sistema de calibração.....	50
Figura 14 – Etapas do processo de calibração	51
Figura 15 – Monitoramento de pulsos através da porta serial.....	52
Figura 16 – Rede de abastecimento de água do setor C2 da UFCG, campus sede	54
Figura 17 – Área de estudo.....	54
Figura 18 – Macromedidor instalado na rede.....	56
Figura 19 – Caixa com o microcontrolador.....	56
Figura 20 – Micromedidor instalado no bloco CR.....	57
Figura 21 – Micromedidor instalado no bloco CQ.....	57
Figura 22 – Pulsos × Vazão, considerando a Equação 4.....	62
Figura 23 – Monitoramento do macromedidor no ThingView	65
Figura 24 – Visualização das medições no ThingSpeak	66
Figura 25 – Valores de consumo agrupados por semanas do macromedidor	67
Figura 26 – Consumo médio por dia da semana no macromedidor	68
Figura 27 – Consumo total por dia da semana no macromedidor	68
Figura 28 – Consumo medido pelo macromedidor no mês de julho de 2023	69
Figura 29 – Consumo registrado pelo macromedidor no mês de agosto de 2023.....	70
Figura 30 – Detalhamento do consumo medido pelo macromedidor no dia 22/08/2023.....	70
Figura 31 – Diferença entre valores de macro e micromedição	72
Figura 32 – Consumo elevado medido no dia 22 de agosto de 2023	72

Figura 33 – Detalhamento do consumo elevado registrado no dia 22/08	73
Figura 34 – Torneira externa conectada diretamente ao sub-ramal.....	73
Figura 35 – Vazões médias do consumo elevado do dia 22 de agosto de 2023	74
Figura 36 – Consumo medido entre 13h10 e 16h06 do dia 29/08.....	75
Figura 37 – Frequência de atividade dos medidores	76
Figura 38 – Anomalia detectada no sistema.....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de hidrômetros mecânicos comumente utilizados	33
Quadro 2 – Hidrômetros digitais	34
Quadro 3 – Demais componentes do sistema.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações gerais sobre diferentes tipos de medidores de vazão	35
Tabela 2 – Parâmetros técnicos do sensor de fluxo YF-DN50.....	43
Tabela 3 – Custos de desenvolvimento do protótipo e instalação na rede de abastecimento...	59
Tabela 4 – Comparação de sistemas com alternativas comerciais	60
Tabela 5 – Outros parâmetros relevantes	61
Tabela 6 – Valores de vazão volumétrica associados aos pulsos medidos	62
Tabela 7 – Cálculo do erro percentual observado em ambas as equações	63
Tabela 8 – Quantidade de envios maiores que zero e médias dos valores de 11/08 a 25/08 ...	71
Tabela 9 – Detalhe do dia 29/08 com dados do macro e dos micromedidores	75
Tabela 10 – Valores anômalos detectados.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CCT	Centro de Ciência e Tecnologia
CTRN	Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
DMC	Distrito de Monitoramento e Controle
DP	Distrito Pitométrico
EPAL	Empresa Portuguesa das Águas Livres
GDA	Gestão da Demanda de Água
GOA	Gestão da Oferta de Água
IPD	Índice de Perdas na Distribuição
IoT	Internet of Things
IWA	International Water Association
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Objetivos.....	20
1.1.1. Objetivo geral	20
1.1.2. Objetivos específicos	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1. Escassez hídrica	21
2.2. Aparato legal da preservação hídrica.....	23
2.3. Gestão da Demanda de Água.....	25
2.3.1. A cobrança como instrumento de gestão.....	26
2.4. Perdas na rede de distribuição de água	27
2.5. Medição do consumo de água.....	30
2.5.1. Controle de perdas em sistemas de abastecimento.....	30
2.5.2. Macromedição e micromedição.....	31
2.6. Equipamentos e sistemas	33
2.6.1. Tipos de medidores.....	33
2.6.2. Sistemas inteligentes e automação	35
2.6.3. Internet das Coisas (IoT)	37
2.6.4. Fornecimento de dados em tempo real.....	38
3. METODOLOGIA.....	40
3.1. Etapa I - Construção do Protótipo.....	40
3.1.1. Hardware	41
3.1.2. Software.....	46
3.1.3. Plataforma para armazenamento e acompanhamento dos dados medidos	48
3.1.4. Comparação de custos	49
3.2. Etapa II - Calibração e Validação	49
3.2.1. Testes em bancada experimental	49

3.2.2.	Obtenção da nova equação descritiva do sensor	52
3.2.3.	Validação	53
3.3.	Etapa III - Instalação na rede	53
3.3.1.	Instalação do macromedidor.....	55
3.3.2.	Instalação dos micromedidores	56
3.3.3.	Relação entre macromedição e micromedição	57
3.4.	Etapa IV - Acompanhamento das medições	57
3.5.	Etapa V – Análises dos resultados	58
4.	RESULTADOS	59
4.1.	Análise de custos e parâmetros	59
4.2.	Calibração e validação	62
4.3.	Acompanhamento das medições.....	64
4.4.	Dados de consumo na rede	67
4.4.1.	Análise do consumo registrado pelo macromedidor	67
4.4.2.	Relação entre macromedição e micromedição	71
4.5.	Anomalias detectadas.....	77
5.	CONCLUSÃO.....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1. INTRODUÇÃO

A escassez de água é posicionada entre os riscos mundiais de maior preocupação para os formuladores de políticas públicas e líderes empresariais, pelo potencial bélico atrelado à busca por este recurso (Fórum Econômico Mundial, 2023, p. 65). A população urbana global que enfrenta escassez hídrica deverá chegar a até 2,4 bilhões de pessoas em 2050, representando um terço a quase metade da população urbana mundial (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2023, p. 2).

De acordo com os objetivos traçados pela Organização das Nações Unidas - ONU (2015), para o desenvolvimento sustentável é necessário garantir disponibilidade e gestão sustentável da água potável e do saneamento para todas as pessoas. Porém, há diversas dificuldades que envolvem o fornecimento de água, tanto quantitativamente como qualitativamente, estando estas relacionadas aos problemas estruturais, ambientais e sendo resultantes da rápida e desordenada expansão das cidades, que geram aumento da demanda, contaminação e incertezas políticas (Imad *et al.*, 2019; Cunha, Marques e Savić, 2020; Pallavi, *et al.*, 2021). Além desses fatores, surgem problemas relacionados principalmente ao crescimento populacional e às mudanças climáticas que corroboram para o contexto de escassez hídrica em diversas regiões ao redor do mundo (Salehi, 2022).

Garantir o acesso contínuo a água de qualidade para o abastecimento da população é um dos maiores desafios da atualidade e um importante aspecto a ser considerado no projeto dos sistemas de abastecimento (Mohapatra, *et al.*, 2022). Pressões ambientais e econômicas associadas ao uso eficiente da água influenciam principalmente na quantidade do recurso disponível para utilização de maneira sustentável.

O Brasil é reconhecido por tamanha riqueza hídrica, porém há uma má distribuição territorial do recurso. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2018), estima que, em 2018, quase 38 milhões de pessoas sofreram com secas e estiagens, sendo 80% destas residentes no Nordeste. Nessa região, os problemas relacionados a escassez hídrica são generalizados e recorrentes, caracterizando assim o denominado “Polígono das Secas”. Esse local é marcado principalmente pela variabilidade temporal e espacial das precipitações, além das elevadas taxas de evaporação, que contribuem juntamente para as condições limitantes de disponibilidade de água nos mananciais (Campos e Studart, 2003).

Destaca-se então a necessidade de adoção de soluções que possam garantir quantidade de água doce adequada para sustentar a saúde e o bem-estar das pessoas e dos ecossistemas (Damkjaer e Taylor, 2017). Habitualmente, a proposta nesses casos envolvia a conhecida Gestão da Oferta de Água (GOA), política que estimula o aumento do fornecimento de água proporcional ao aumento da demanda. Uma das ações realizadas para atender essa demanda diz respeito à construção de reservatórios para armazenamento de água, além de busca constante por novas fontes de abastecimento (Tagnin, Capellari e Rodrigues, 2016; Marengo, Torres e Alves, 2017; Cáceres, Ramos e Sant'ana, 2019; Silva, 2020, Rocha et. al, 2023).

A gestão da água urbana envolve mais do que a simples disponibilidade e alocação do recurso, estando intimamente ligada a diversos setores de desenvolvimento urbano, relacionados especialmente com o estilo de vida dos cidadãos (Sharma, Seetharaman e Maddulety, 2021). Assim, é necessário o desenvolvimento de um sistema de gestão que garanta um fornecimento eficiente e adequado da água, e que seja economicamente e ambientalmente sustentável, a fim de reformular o adotado tradicionalmente, tornando-o mais confiável, participativo e inteligente.

Uma alternativa que surge como solução é a Gestão da Demanda de Água (GDA) que tem por objetivo promover maior eficiência na utilização dos recursos hídricos pela destinação mais coerente da água, resultando em maior produtividade e menor consumo (Kherbache, 2020). Essa política busca a aplicação de ferramentas baseadas na economia, tecnologia e conscientização, mostrando aos consumidores finais a importância estratégica e o valor da escassez da água (Hoo, 2020). Todavia, a dificuldade não se limita apenas a disponibilidade e qualidade da água fornecida, envolve também o combate aos problemas relacionados ao fornecimento, principalmente as perdas de água. As perdas podem ser tanto comerciais como físicas, resultantes de vazamentos, erros de medição ou ainda de consumos não autorizados, sendo necessário a atuação de ações que, muitas vezes, se mostram onerosas e de difícil execução (Medeiros, 2022).

Em relação ao controle das perdas, tem-se que a medição do consumo é uma importante ferramenta, inclusive para planejamento do fornecimento de água. Esse instrumento relaciona o consumo individual com o coletivo, permitindo assim a análise dos dados e identificação de possíveis desvios dos valores. Através dessas ações, é possível controlar, conscientizar e fornecer meios para que o planejamento seja realizado. Para promover maior eficiência na medição, uma alternativa útil é a automação dos sistemas, que permite maior controle e acompanhamento do consumo em tempo real. Com essa tecnologia pode-se observar diversos

benefícios, tanto com relação aos fornecedores do serviço, como para os consumidores (Stewart, *et al.*, 2018). Os medidores inteligentes de água são dispositivos com capacidade de registrar em tempo real os dados de consumo desse importante recurso, com uma precisão cada vez maior, devido aos estudos associados a essa tecnologia (Farah e Shahrour, 2018).

Esses equipamentos funcionam de diferentes maneiras para combater o desperdício da água, como por exemplo: permitem a utilização dos dados registrados e transmitidos para informar constantemente aos consumidores sobre seu consumo; permitem o estudo e compreensão de um determinado padrão de consumo em um período de tempo; por meio de estudo e análise dos dados obtidos; facilita a detecção de anormalidades, como perdas por vazamentos, mal uso ou mal funcionamento, de maneira rápida e segura (Adams e Jokonya, *op. cit.*).

Entretanto, a problemática em torno dos sistemas inteligentes de medição se desenvolve a partir dos custos de sua implantação. O Banco Mundial afirma que a utilização de sistemas inteligentes por parte dos gestores públicos depende de uma análise eficiente dos custos e dos benefícios a eles relacionados (The World Bank, 2018); Msamadya *et al.* (2022) afirmam que o custo alto dos sistemas de medição de água atrasa sua implementação; Koech, Cardell-Oliver e Syme (2021) dizem que o custo de implantação destes sistemas é determinante para sua utilização, e que embora tal custo seja atualmente alto, tende a diminuir com o surgimento de novas ferramentas; e Slaný *et al.* (2020) afirmam que é provável que os custos de instalação de sistemas inteligentes sejam repassados aos consumidores pelas fornecedoras, mas isso seria compensado pela redução dos custos com pessoal para operação da rede.

Trabalhos sobre a aplicação de sistemas inteligentes de baixo custo aplicados à gestão de água já vêm sendo realizados pelo grupo de pesquisa na área de Sistemas de Automação de Recursos Hídricos na UFCG. Felinto Filho *et al.* (2023) desenvolveram um sistema de avaliação do consumo de água pelo usuário; Medeiros (2022) criou um medidor de pressões e vazões de baixo custo para instalação em redes de abastecimento; Brandão (2022) produziu um hidrômetro IoT para micromedição automatizada do consumo de água; Dantas *et al.* (2023) produziram um sistema de monitoramento remoto de consumo medido por hidrômetros analógicos utilizando fotografia.

Este trabalho também foi conduzido dentro do grupo de pesquisa na área de Sistemas de Automação de Recursos Hídricos e visou o desenvolvimento de um sistema de baixo custo e fácil aplicação para automatizar e monitorar a macromedição, a ser instalado em rede de

distribuição de água. Para tal, foram utilizados sensor de fluxo e placa microcontroladora, com calibração e validação realizadas em laboratório. O sistema faz uso da computação em nuvem para armazenar e monitorar os dados.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Desenvolvimento de um sistema automatizado de código aberto de baixo custo e fácil aplicação destinado à macromedição de consumo de água em redes de abastecimento.

1.1.2. Objetivos específicos

- Avaliar o protótipo desenvolvido com a calibração e validação em ambiente controlado;
- Analisar o comportamento do sistema desenvolvido quando instalado em uma rede real de abastecimento, verificando suas potencialidades e fragilidades;
- Analisar a relação entre macromedição e micromedição;
- Avaliar o custo do sensor desenvolvido comparando-o com alternativas comerciais utilizadas em redes de abastecimento;
- Observar o padrão de consumo na rede.

2. REVISÃO DE LITERATURA

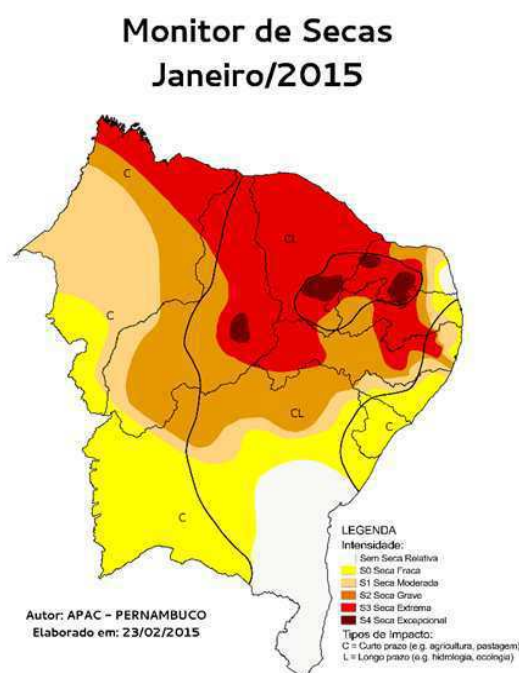
2.1. Escassez hídrica

Embora possua tamanha riqueza hídrica, o Brasil também é um país que tem dificuldades quanto à disponibilidade de água. Estima-se que, em 2018, quase 38 milhões de pessoas sofreram com secas e estiagens, sendo 80% destes residentes no Nordeste (ANA, *op. cit.*). Nessa região, mais especificamente o semiárido, onde está situado o Polígono das Secas, há recorrentes períodos de escassez prolongada.

Segundo Otoch *et al.* (2019, p. 44), o Nordeste é caracterizado por alta variabilidade temporal e espacial na distribuição de chuvas, alta variabilidade das vazões anuais (a maior do planeta, com coeficientes de variação superiores a 1,0), altas taxas de evaporação e rios intermitentes. Tais fatores são condições limitantes para disponibilidade constante de corpos hídricos e mananciais.

Na Figura 1 é possível observar o fenômeno da seca sobre a região nordestina no mês de janeiro de 2015, período de severa escassez vivenciada.

Figura 1 – Mapa da seca na região nordeste em 2015

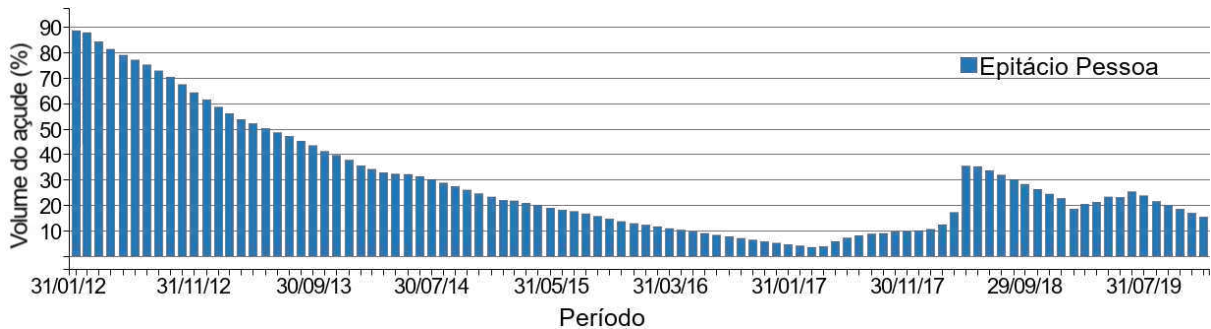


Fonte: Monitor de Secas (2015)

Diversas cidades da região passam por ciclos prolongados de estiagem, a exemplo de Campina Grande-PB. A Figura 2 apresenta a série histórica de volumes do manancial que abastece o município, com destaque para o período de 2012 a 2017, em que houve grande

período de seca. Observa-se o processo de redução do volume a partir do ano de 2012, que culminou com o menor volume, registrado no auge da crise hídrica de 2017.

Figura 2 – Evolução dos volumes do Açude Epitácio Pessoa de 2012 a 2019



Fonte: AESA (2023)

A falta de água implica na redução do fornecimento para consumo humano, que representa mais de 23% da retirada total de água no país (ANA, *op. cit.*), assim como para produções agrícola e industrial, navegação, pesca, geração de energia, turismo e outros tipos de uso.

Entretanto, a escassez não é restrita à região Nordeste. Outras áreas do país, inclusive zonas de alta densidade populacional, como capitais e regiões metropolitanas, vivenciaram períodos de grave crise hídrica. A exemplo, tem-se o estado de São Paulo, na região sudeste, enfrentou, nos anos de 2014 e 2015, um período em que os níveis pluviométricos se apresentaram muito menores em relação à média histórica (Marengo *et al.*, 2015). Essa diminuição acarretou o colapso hídrico de reservatórios que abasteciam as cidades do estado, incluindo a maior do país, São Paulo.

Além da redução dos índices pluviométricos, a escassez hídrica é causada também pela deterioração dos mananciais existentes. Muitos mananciais utilizados são afetados pela retirada descontrolada de água e pela poluição. Diversos fatores que comprometem a qualidade da água podem ser enumerados. Para o Ministério do Meio Ambiente (2019), práticas inadequadas de uso do solo e da água; falta de infraestrutura de saneamento (precariedade nos sistemas de esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e resíduos sólidos); superexploração dos recursos hídricos estão entre causas de degradação das áreas de mananciais.

Historicamente, as zonas urbanizadas tendem a se aproximar das fontes hídricas, tornando-as mais escassas ou poluindo-as, impelindo os tomadores de decisão a percorrer maiores distâncias em busca de novos mananciais (Gomes, 2019, p.13-14). Tal concepção é predatória e impulsiona a diminuição da quantidade de água disponível ao consumo humano.

A partir dessa ação, cria-se um uso descontrolado que não considera a necessidade futura ou que não atende aos critérios estabelecidos pelas agências reguladoras, e que é tão ou mais danoso que a poluição dos corpos hídricos.

2.2. Aparato legal da preservação hídrica

Em virtude do cenário global de escassez, ações de incentivo aos investimentos em segurança hídrica foram realizadas. Como parte dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), elaborados pela ONU em 2015 e integrantes da Agenda 2030, tem-se o objetivo nº 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Dentro deste campo de ações, está o objetivo 6.4, que impõe como meta, a ser cumprida até o ano de 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água (ONU, 2015).

Embora possua uma legislação que se fortaleceu ao longo dos anos, o Brasil ainda tem muito a avançar. Segundo Jacobi *et al.* (2020), no Brasil observa-se um descompasso entre o crescimento urbano acelerado [...] e a morosidade com que se implanta infraestrutura de água e saneamento e a quase omissão no que diz respeito a estratégias de redução de seu uso.

No país, ao longo da história recente, políticas foram criadas e leis promulgadas a fim de se combater os problemas associados à escassez hídrica e garantir a preservação do meio ambiente. Dado que se trata de um país rico em recursos hídricos, detendo vários aquíferos, lagos e rios, a preservação deste recurso precisa ser incentivada e regida legalmente.

Desde o Código de Águas (Brasil, 1934), criado com o fim de estabelecer o regime jurídico das águas no Brasil, até a Lei das Águas (Brasil, 1997), responsável por definir mais especificamente os meios para uso dos recursos hídricos no país, houve um avanço no sentido da preservação e da redução do desperdício. De acordo com Souza e Pertel (2020), os aspectos legais tornam-se referências para a execução de procedimentos padronizados e, se elaborados de forma técnica, podem contribuir com o controle e monitoramento do uso das águas (*ibid.*, p. 72).

O Código de Águas de 1934, embora tenha representado um avanço reconhecido no trato jurídico dos recursos hídricos, lidava com questões de caráter econômico ou de direito de propriedade, não possuindo teor preservativo. As águas eram consideradas como recurso natural renovável, fato que levou ao incentivo do desenvolvimento industrial e agrícola no país, abordando principalmente a produção de energia elétrica (*ibid.*).

Ao passo que o país se desenvolveu, o foco do governo esteve em prover recurso para a demanda crescente, como relatam Nunes, Fadul e Cerqueira (2019):

[...] como resultado das políticas desenvolvimentistas da época, o crescimento do país resultou em centros urbanos desordenados. A industrialização, a agricultura e a mineração, bastante ativas, por outro lado, trouxeram também a degradação dos corpos d'água e escassez do fornecimento. O Código das Águas, no entanto, não previa isso, nem foi alterado por alguma proposta de plano de ação. Para tentar suprir essa crescente demanda, o governo passou a construir obras de grande porte (p. 5).

Com o passar do tempo, as novas demandas relacionadas aos recursos hídricos explicitaram a necessidade de avanço nas políticas de gestão dos mesmos. Surgiu então, através da Lei nº 11.306/87, a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH). De acordo com Otoch *et al.* (*op. cit.*), este órgão

[...] impulsionou ações tanto construtivas ou estruturais, como não estruturais, neste caso, através da criação de instrumentos legais, jurídicos, institucionais e administrativos tendo em vista as realizações que se descortinavam como grandes desafios. Tais ações iniciaram-se com a criação de um aparato estatal e com a implantação de uma política pública para equacionar a questão hídrica (p. 49)

Meses depois, a Constituição de 1988 ampliou o sentido da legislação a fim de garantir a preservação do meio ambiente como um todo, conferindo poderes aos estados e introduzindo novos conceitos no trato dos recursos hídricos, definindo os novos domínios para a água e sua caracterização. Entretanto, não estabeleceu marcos legais para a preservação específica dos recursos hídricos, numa abordagem indireta que conectava a preservação da água a outros interesses.

A partir do incentivo constitucional à preservação do meio ambiente, e anteriormente à promulgação da lei nacional, estados moldaram suas legislações a fim de preservar os recursos hídricos. Podem ser citadas as Políticas Estaduais de Recursos Hídricos de São Paulo e de Santa Catarina, sob os números 7.663/91 e 9.748/94, respectivamente, que já apontavam para a proteção dos recursos hídricos, visto que ambas as leis foram direcionadas a assegurar utilização racional dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, garantido o uso prioritário para o abastecimento das populações e proteção das águas contra ações que possam comprometer o seu uso atual e futuro (São Paulo, 1991; Santa Catarina, 1994).

Também é possível citar a lei paraibana, de nº 6.308/96, que instituiu dentre os objetivos: O aproveitamento dos Recursos Hídricos deverá ser feito racionalmente de forma a garantir o desenvolvimento e a preservação do meio ambiente (Paraíba, 1996). As leis estaduais foram importantes para o controle mais direto dos recursos hídricos dentro dos Estados.

Após tais avanços, a legislação culminou na Lei das Águas (nº 9.433/97), que objetiva, dentre outros pontos, assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de

água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (Brasil, 1997). Por esta lei foram regulamentados os Comitês de Bacias, atribuindo-lhes o papel de espaço dedicado ao planejamento e governança das águas, assim como de resolução dos conflitos hídricos (Gusmão e Pavão, 2019, p. 63).

2.3. Gestão da Demanda de Água

O avanço da urbanização e o constante crescimento da população trazem consigo o aumento na demanda por água. Diante do cenário de escassez vivenciado no mundo, é necessário que soluções modernas e eficazes sejam adotadas para aumentar a eficiência das ações que são desenvolvidas com o objetivo de garantir o acesso universal à água e ao mesmo tempo reduzir o consumo.

Nesse contexto, a Gestão da Demanda de Água (GDA) é uma ferramenta que consiste em desenvolvimento e implementação de estratégias para influenciar a demanda a fim de alcançar o uso sustentável e eficiente de um recurso escasso (Savenije e Van der Zaag, 2009). Essa abordagem difere frontalmente do tradicional Gerenciamento da Oferta de Água (GOA), que implica em aumentá-la de acordo com a demanda e que tem se observado ao longo dos anos na região do semiárido nordestino, onde o consumo predatório se mostrou, historicamente, agressivo ao meio ambiente e gerador de desigualdades.

Vieira (2008) observa que as políticas hídricas, tradicionalmente, se limitam à construção de barragens (aumento da oferta) sem maiores preocupações com a adoção de medidas de gerenciamento da demanda. Isso corrobora com Stavenhagen, Buurman e Tortajada (2018), que afirmam que a GDA recebeu pouca atenção ao longo do século XX. Em paralelo, a abordagem produtivista, predominante até ao final do século XX, foi marcada pelas grandes obras hidráulicas baseadas em planejamentos estratégicos de ofertas, e foi geradora de grandes conflitos sociais, degradação ambiental e pela irracionalidade macroeconômica (Câmara, 2009).

A gestão da demanda constitui-se em uma abordagem diferente, sob aspecto preservativo. Visa otimizar a relação entre a demanda e a oferta, a fim de que o recurso esteja disponível a um uso contínuo ao longo dos anos, considerando-se que atenderá a condições de preservação e economia. De acordo com Stavenhagen, Buurman e Tortajada (*op. cit.*):

Ao incentivar o uso racional da água, abordando critérios de eficiência e economia, a GDA mostra a forte conexão entre o gerenciamento da qualidade e da quantidade da

água. Isso exige reduzir o consumo de água, reutilizá-la quando possível, reduzir a poluição e tratar corretamente o desperdício. (p. 188)

Conforme Ramsey, Berglund e Goyal (2017), é dispendioso gerir apenas a oferta, bem como se tornou caro e ambientalmente destrutivo investir em infraestrutura de fornecimento. Mais do que tudo, os recursos hídricos exploráveis são finitos. Afirmam ainda que um programa de gestão da demanda bem projetado deve ser baseado em informações sobre os usos finais e comportamentos dos usuários, convicções e respostas a fim de maximizar sua efetividade.

Nos períodos de escassez hídrica os gestores agem para garantir o prolongamento do fornecimento de água para a população, seja diminuindo a retirada de água dos mananciais, o que, conseqüentemente, induz a população a armazenar água ou diminuir o consumo, ou seja regularizando o sistema de abastecimento, consertando vazamentos e reduzindo as perdas, evitando também os desperdícios. Em momentos extremos, chega-se ao ponto da realização do racionamento compulsório.

Isso corrobora com o que afirma Sousa *et al.* (2020, p. 466) quando diz que os gestores dos recursos hídricos enfrentam o problema de satisfazer a necessidade da população e, ao mesmo tempo, controlar os níveis dos mananciais de forma que esses possam manter uma capacidade suficiente para sustentar o abastecimento ao longo do tempo.

Em face disso, tem sido observado que trabalhar apenas a oferta não é eficiente. Ainda segundo Sousa *et al.* (*ibid.*), a tradicional ótica de expansão da oferta de água está se tornando tecnicamente e economicamente inviável. Como também afirmou Brandão (2022, p. 16), tais dificuldades incentivam outra solução ao problema da demanda que é encorajar o uso eficiente e produtivo da água já disponível, pelo que se vê que a GDA é essencial para complementar a GOA.

2.3.1. A cobrança como instrumento de gestão

Atuando na outra ponta da corrente, é importante que se estimule a população a reduzir o consumo de água, pois, a partir do consumo diário da população, a empresa distribuidora e os órgãos reguladores podem fazer novos planejamentos para fornecimento. Nesse âmbito, uma ferramenta já utilizada é a cobrança da água. A cobrança deve ser implementada de maneira que o usuário direcione seu comportamento no sentido da sustentabilidade ambiental, ou seja, cobrar mais quanto maior for a escassez de água (Brandão, *op. cit.*) ou quanto maior for o desperdício, gerado pela falta de consciência.

É a partir da cobrança pela água que o usuário se depara com a necessidade de reduzir o consumo para não incorrer em gasto excessivo com o mesmo, como descreve Schneider (2022):

[...] a cobrança pelo uso dos recursos hídricos atua como instrumento financeiro [...], econômico e ambiental destinado à conservação da água e otimização de seu uso, ambos alcançados por meio do cultivo de culturas que consumam menor volume de água, de investimentos em tecnologias menos hidrotensivas e estimulando seu uso racional, supondo que ao se pagar uma taxa pela captação de um volume de água, o usuário seria estimulado a uma mudança comportamental, tornando seu consumo parcimonioso. (p. 29)

Sobre a política da cobrança de água, Ghinis, Fochezatto e Kuhn (2020) descrevem que a eficiência está atrelada à sensibilidade do consumo em relação à variação nos preços. Significa que o consumo de água será diretamente afetado com a variação do valor atribuído ao recurso. Outro fator que interfere diretamente na eficiência da política de cobrança é a eficiência na medição do consumo, visto que para cobrar pelo uso é necessário conhecê-lo.

Corroborando com essa linha de pensamento, e em resposta aos problemas associados ao consumo de água, Maris e Matthews (2023) ressaltam que compreender a demanda de água e o comportamento do consumo doméstico deste recurso são necessários para projetar políticas e infraestruturas eficientes de gestão da água.

Tem-se, portanto, que o incentivo ao uso racional é o enfoque primordial da gestão da demanda de água, pelo que se cria primeiramente um ambiente para redução do consumo, não apenas do fornecimento. Entretanto, para uma implementação eficiente da gestão, deve-se adotar medidas como redução das perdas na distribuição da água e aumento nos índices da cobertura da medição do consumo.

2.4. Perdas na rede de distribuição de água

Como entrave à gestão, há o problema da perda de água. Uma gestão eficiente deve ser caracterizada pela busca da redução das perdas, que correspondem à saída não conhecida de água da rede, ocorrida nos sistemas de abastecimento do país e que se dá a partir de vazamentos, erros de medição e consumos não autorizados. As perdas são inerentes a qualquer sistema de abastecimento de água (Brasil, 2021). A padronização realizada pela *International Water Association* (IWA) (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015) em um sistema de abastecimento divide as perdas de água em duas categorias:

- *aparentes ou comerciais*, que correspondem ao volume de água consumido, mas não contabilizado pela companhia fornecedora (consumos não autorizados, falhas no sistema comercial e erros na medição);
- *reais ou físicas*, que correspondem ao volume de água perdido ao longo da distribuição que não será utilizado pelos consumidores (vazamentos na rede ocasionados por instalação inadequada ou ausência de manutenção).

Um panorama da distribuição de água no país pode ser obtido através do Ranking do Saneamento, estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil que sistematiza dados da plataforma SNIS para fornecer análises das condições do saneamento no país a partir de amostra composta pelos 100 maiores municípios brasileiros. Um dos dados fornecidos pelo relatório que é útil para observar o fenômeno das perdas na distribuição é o Índice de Perdas na Distribuição (IPD).

Em 2021, o índice de perdas na distribuição aferido no país foi de 40,4%, tendo algumas cidades ultrapassado a barreira dos 70%, destacando-se negativamente o município de Porto Velho (RO), com índice de perdas de 77,21%. (Instituto Trata Brasil e GO Associados, 2022). Verificou-se ainda que $\frac{1}{4}$ da amostra apresentou índice de perdas acima de 50%. O município de Campina Grande apresentou um índice de 27,5%.

As perdas são fatores agravantes em períodos de estiagem. No município de São Paulo, em 2013, ano anterior ao em que se iniciou a crise hídrica, o índice de perdas na distribuição de água atingia 32,1% (Instituto Trata Brasil e GO Associados, 2015). O município de Campina Grande, Paraíba, no ano de 2011 (imediatamente anterior ao período de escassez hídrica), apresentava índice de perdas de 39,2% (Instituto Trata Brasil e GO Associados, 2013). Em uma situação de calamidade, na qual a distribuição de água já está comprometida devido à diminuição dos níveis dos mananciais, as perdas na distribuição agravam o problema por materializar o desperdício do pouco recurso disponível.

Para Gomes (*op. cit.*), embora não seja um bom indicador do desempenho do sistema, o IPD é importante por permitir a estimativa das perdas financeiras da concessionária. Eventualmente, os gastos excessivos são repassados ao consumidor. Além disso, observa-se que os dados são úteis para conhecer o desperdício associado ao consumo, além de alertar as classes gestora e pesquisadora para o problema a ser solucionado. Medeiros (2022, p. 34) afirma que estes dados são um incentivo para o surgimento de novas pesquisas no setor, com o objetivo de gerenciar e reduzir as perdas de água, visando garantir o abastecimento aos diferentes usuários que necessitam do recurso para desenvolvimento de suas atividades.

Há também que se considerar o aporte legal que sustenta a necessidade de investimentos em políticas e ações de combate às perdas. A portaria nº 490/2021 indica que os municípios devem adotar práticas de redução dos índices de perdas na distribuição, dentre elas as citadas nos incisos de I a IV:

“I - setorização e zonas de medição e controle;

II - macromedição e pitometria no sistema distribuidor;

III - micromedição; e

IV - implantação, ampliação ou melhoria do controle operacional.” (Brasil, 2021).

É fato que se mostra mais eficiente trabalhar para reduzir as perdas na distribuição antes que crise hídrica aconteça, para que durante o período de menor disponibilidade, fatores agravantes possam ser manejados. As perdas de água na distribuição são um agravante em cenários de escassez também em relação à captação de água dos mananciais, pois “na quantificação do volume ou vazão necessária para alimentar o sistema de abastecimento, é necessário levar em conta as perdas de água, [...] que vão contribuir para aumentar a sua demanda bruta” (Gomes, *op. cit.*, p. 43).

O problema ambiental das perdas se dá então por esta relação entre demanda e retirada, pois quanto maior o índice de perdas na rede, maior a vazão a ser retirada dos mananciais, e menor será a disponibilidade do recurso a longo prazo. É válido destacar também que as perdas podem representar um risco à saúde pública, visto que a infiltração de poluentes no sistema de abastecimento de água para consumo humano através de rupturas na tubulação pode resultar em doenças, no caso de sistemas com baixa pressão e, sobretudo, de operação intermitente (Empresa Portuguesa das Águas Livres - EPAL, 2017).

Entretanto, reduzir as perdas em um sistema de abastecimento de água ao índice de zero é inviável técnica e economicamente (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2015). Por isso, o investimento em melhorias deve ter por objetivo a redução dos índices ao mínimo possível, em compatibilidade com as metodologias e tecnologias atualmente disponíveis.

É fato que os vazamentos na tubulação podem ser esporádicos, e as perdas contínuas ocorrentes em conexões e juntas tendem a aumentar com o passar do tempo. Nesse sentido, a medição do consumo de água se torna relevante para construção de padrões de consumo que servirão de referência para potenciais análises de situações atípicas. Além disso, a medição é

útil para detectar perdas reais que não são detectadas visualmente, mas que podem ser aferidas através de balanço hídrico.

Em consequência, para reduzir as perdas também é importante realizar um diagnóstico das condições de operação da rede, a fim de conhecer os problemas e procurar soluções. Esse conhecimento envolve a coleta de dados no tempo e no espaço, a geração e processamento das informações e a correta interpretação delas (ABES, *op. cit.*).

Quanto à auditoria do consumo,

As informações geradas podem ser utilizadas para gerar modelos de previsão de demanda, no dimensionamento de redes hidráulicas e reservatórios de sistemas prediais de água potável e de água não potável, avaliar o desempenho de diferentes estratégias voltadas à conservação de água, a eficácia de políticas públicas, entre outros (Alcântara *et al.*, 2021, p. 143-144)

Sobrinho e Borja (2016) concluíram que uma gestão de perdas eficiente deve integrar gestores e operadores em estratégias intersetoriais, havendo para isso ações contínuas e não pontuais. Tem-se, para tal, a necessidade de obter informações também contínuas acerca do consumo dispostas numa série histórica. Porém, a dificuldade maior para efetivação desse tipo de metodologia é a inexistência de sistemas que tenham automação integrada à medição de vazão e mecanismos que armazenem dados para possibilitar que a análise seja realizada (Medeiros, *op. cit.*, p. 37).

2.5. Medição do consumo de água

2.5.1. Controle de perdas em sistemas de abastecimento

A medição do consumo de água surge como ferramenta útil à gestão da demanda para o controle de perdas, pois através dela é possível obter indicadores importantes. Além disso, é por meio dela que se tornam possíveis os estudos relacionados ao abastecimento, auxiliando no diagnóstico dos problemas e tendo por objetivo a melhora no atendimento (Oliveira, 2019). Ela está incluída no Plano Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) (Brasil, 2003a), que institui que:

Os sistemas de medição se constituem num instrumento indispensável à operação eficaz de sistemas públicos de abastecimento de água, pois o conhecimento das diversas variáveis envolvidas, proporcionado pela medição, permite explorar as melhores formas de operação do sistema de abastecimento em todas suas partes: captação, adução de água bruta, tratamento, adução de água tratada, reservação e distribuição (p. 10).

Medir o consumo não serve apenas para taxar, mas também para controlar, conscientizar e fornecer meios para planejamento. É uma ferramenta importante para os órgãos gestores na

busca por melhorar o serviço prestado e tornar a exploração do recurso mais sustentável, visto que permite a observação de padrões de consumo.

Consumidores domésticos geralmente se comportam de maneiras complexas que podem ter consequências significativas para os gestores do abastecimento de água. Compreender a dinâmica dos padrões de consumo e economia de água é, então, útil para a criação de políticas de gestão da demanda, bem como para planejar e projetar infraestrutura hídrica (Ramsey, Berglund e Goyal, 2017, p. 2).

Schneider (2022), diz que o bom desenvolvimento da prática de medição de vazão no sistema de abastecimento de água permite promover, além do uso racional da água, maior controle do operador sobre o sistema. Isso significa que a medição colabora diretamente com a eficiência do próprio sistema de abastecimento.

2.5.2. *Macromedição e micromedição*

Há duas categorias de medição de água em sistemas de abastecimento: *macromedição*, que se caracteriza como o conjunto de medições realizadas desde a captação de água bruta até as extremidades a jusante da rede de distribuição, e *micromedição*, que se constitui daquela realizada no ponto de abastecimento individual (usuário), através de hidrômetros.

Os macromedidores, servem, conforme Bohrer (2019)

[...] para medir a vazão captada, aduzida e distribuída no sistema, bem como as pressões e níveis de água nos mesmos. Devem ser implantados em vários pontos da rede, incluindo o trecho logo após a captação, antes e após o tratamento e na entrada de cada setor/zona de pressão” (p. 48).

Com o objetivo de avaliar quantitativamente o nível de medição nos sistemas de abastecimento de água, o indicador de macromedição apresenta a proporção do volume de água que foi disponibilizado para a distribuição e que foi medido (Siqueira e Souza, 2020). Segundo Brasil (2021), associada a uma medição ao longo de todas as unidades do sistema, a macromedição ajuda a identificar perdas na distribuição e fornece informações fundamentais ao controle e à operação do sistema de abastecimento de água.

O Documento de Apoio Técnico D2 do PNCDA trata acerca da macromedição, justificando sua necessidade para tornar eficiente um sistema de abastecimento, enfocando que este procedimento possui aplicações de:

1. Controle da operação do sistema de abastecimento de água;
2. Controle das perdas de água;
3. Subsídio à comercialização da água;
4. Subsídio à conservação da energia;
5. Subsídio à avaliação geral do sistema e ao planejamento. (Brasil, 2003a)

Já a micromedição, segundo o Documento de Apoio Técnico D3 do PNCDA, é a medição do consumo realizada no ponto de abastecimento de um determinado usuário, independentemente de sua categoria ou faixa de consumo. Basicamente a micromedição compreende a medição periódica do volume consumido utilizando hidrômetros. De acordo com o documento, a micromedição permite, entre outras coisas:

indução da redução do consumo e eventual desperdício quando associado a conveniente sistema tarifário, [...] identificar a parcela de perdas nas instalações prediais, [...] avaliação da evolução de comportamentos e tendências dos usuários ao longo do tempo, permitindo estabelecer projeções e formular cenários visando à otimização da utilização e gestão de recursos hídricos (Brasil, 2003b).

Para que a medição seja eficiente, é necessário realizar um diagnóstico da área de instalação e levantamento prévio dos consumos e das vazões existentes, além de realizar medições periódicas. De tal modo, será possível obter dados precisos e analisar variações geradas pelas perdas (Tardelli Filho, 2006, apud Bohrer, 2019, p. 48).

Isso significa que o conhecimento da área a ser analisada é de vital importância para o sucesso do combate às perdas. Sem tal conhecimento, ações diretas poderão ser realizadas sob uma abordagem não coerente com a realidade e, por fim, não alcançar os objetivos esperados. De acordo com ABES (*op. cit*) quanto menores essas áreas, mais fácil será estabelecer as relações de causa x efeito e depurar as ações subsequentes, no sentido de aumentar a eficácia no controle e na redução das perdas.

Uma alternativa de gerenciamento útil para o conhecimento e controle da rede, é a instituição de Distritos de Medição e Controle, (DMCs), ou Distritos Pitométricos, (DPs). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), um DMC é uma área delimitada e isolável, que possibilita a gestão do sistema por meio do monitoramento, medição e controle de vazões e/ou pressões, permitindo definir indicadores operacionais, avaliar e controlar perdas.

A divisão do sistema de abastecimento em tais distritos serve para facilitar o controle do mesmo. Uma área muito grande pode abarcar mais variáveis e complexidades que dificultariam a gestão e tornariam os valores obtidos com a macromedição difíceis de interpretar, mesmo a partir da associação desses com a realidade conhecida.

[...] reparos de vazamentos, substituição de tubulações e reabilitação de redes podem ser alcançados mais rapidamente e de forma mais simples em setores isolados, porque o processo de parada de operação é mais simples durante a manutenção, não causando alterações nas outras partes das redes (Corrêa et al., 2013).

Para Motta (2010) um setor de abastecimento pode ser fragmentado em diversos DMCs desde que as condições da rede de distribuição ofereçam a possibilidade de fragmentação sem

prejuízo ao abastecimento. Os DMCs proporcionam ações para melhorar o gerenciamento da distribuição de água. Di Nardo *et al.* (2013) expõe que é possível citar como vantagens desta setorização a detecção de vazamentos, através da análise da evolução das vazões noturnas mínimas, e o planejamento de investimentos direcionados aos setores com maiores índices de águas não-faturadas.

A macromedição tende, então, a ser mais eficiente quando são utilizados dispositivos adequados em áreas de controle reduzidas que facilitem a tomada de decisão e proporcionem ações mais rápidas.


2.6. Equipamentos e sistemas

2.6.1. Tipos de medidores



Quanto aos dispositivos utilizados para medição de vazões, existem diversos tipos, que funcionam a partir de princípios variados, devendo-se utilizar na rede de abastecimento aqueles que atenderem às condições existentes. A escolha de um deles dependerá de fatores como tipo de fluido, precisão e confiabilidade desejadas, custo de aquisição e manutenção, facilidade de operação e manutenção, entre outros (Kuroda e Pádua, 2010).

Segundo Diniz (2019), a medição correta do volume distribuído será crucial para determinação dos indicadores de desempenho dentro dos sistemas de distribuição de água. Na medição do consumo, é comum utilizarem-se os hidrômetros, que podem ser mecânicos ou digitais. No Quadro 1, têm-se as ferramentas mais utilizadas nas redes de distribuição.

Quadro 1 – Tipos de hidrômetros mecânicos comumente utilizados

<p>Medidores velocimétricos: são acionados com base na velocidade da água que passa em seu interior, provocando rotação na hélice, que transmite a informação medida ao relógio.</p>	
	<p><i>Hidrômetros unijato (monojato ou turbina):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● o fluxo incide em apenas 1 ponto do rotor; ● largamente utilizados na medição do consumo residencial; ● vazão nominal pode chegar a 3 m³/h, a depender do diâmetro (Hidrogerais); ● mais baratos e menores, recomendados para vazões também menores.


(continuação)

	<p><i>Hidrômetros multijato:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> o fluxo incide em diferentes pontos do rotor; largamente utilizados na medição do consumo residencial; vazão nominal pode chegar a 3 m³/h, a depender do diâmetro (Hidrogerais); podem ser danificados por partículas sólidas.
<p>Medidores volumétricos: possuem um anel ou um êmbolo que efetuam a medida do volume que circula dentro do equipamento, movimentando-se por meio da diferença de pressão entre a entrada e a saída do hidrômetro.</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> mais caros do que os velocimétricos; mais vulneráveis que os velocimétricos (suscetível a travamentos); mais precisos.

Fonte: Adaptado de Silva (2018).

Além dos medidores analógicos, há também os hidrômetros digitais. Estes funcionam sob princípio similar ao dos velocimétricos, porém possuem funcionamento digital e opção de enviar os dados de modo remoto. Um exemplo de hidrômetro digital está descrito no Quadro 2.

Quadro 2 – Hidrômetros digitais

<p>Hidrômetros digitais: funcionam pela contagem de pulsos digitais, geralmente através de um sensor de efeito hall, em que os giros da hélice são contabilizados por um sensor magnético (explicado mais a fundo na metodologia).</p>	
 <p>Fonte: https://cacavazamentossppmais.com.br/hidrometro-de-agua/</p>	<ul style="list-style-type: none"> mais preciso; leituras mais rápidas; mais caro.

Fonte: Autor (2023).

A Tabela 1 apresenta outros tipos de dispositivos medidores de vazão utilizados em redes de abastecimento e algumas de suas características.

Tabela 1 – Informações gerais sobre diferentes tipos de medidores de vazão

Tipo	Utilização	Perda de pressão	Precisão aproximada %	Custo relativo
Venturi	Líquidos comuns pouca suspensão	Baixa	± 1 da escala	Médio
Placa de orifício	Líquidos comuns pouca suspensão	Média	$\pm 2/\pm 4$ da escala	Baixo
Bocal	Líquidos comuns	Média	$\pm 1/\pm 2$ da escala	Médio
Joelho	Líquidos comuns	Baixa	$\pm 5/\pm 10$ da escala	Baixo
Tubo de Pitot	Líquidos sem impurezas	Muito baixa	$\pm 3/\pm 5$ da escala	Baixo
Rotâmetro	Líquidos comuns	Média	$\pm 1/\pm 10$ da escala	Baixo
Deslocamento positivo	Líquidos viscosos sem suspensão	Alta	$\pm 0,5$ da proporção	Médio
Turbina	Líquidos comuns pouca suspensão	Alta	$\pm 0,25$ da proporção	Alto
Eletromagnético	Líquidos condutivos com suspensões	Não há	$\pm 0,5$ da proporção	Alto
Ultrassônico (Doppler)	Líquidos viscosos com suspensão	Não há	± 5 da escala	Alto

Fonte: Adaptado de Kuroda e Pádua (2010).

2.6.2. Sistemas inteligentes e automação

Todos os tipos de medidores supracitados podem se adequar à medição em uma rede de abastecimento, a depender das necessidades. É válido, então, incluir aqui os sistemas inteligentes, que são usualmente definidos como os conjuntos de dispositivos, serviços e soluções inteligentes. Tratam-se de dispositivos inteligentes aplicados em um sistema com o objetivo de observar e medir a exata condição do que está sendo estudado, analisado ou monitorado. As soluções inteligentes englobam as ações que resultam da análise das informações obtidas e comunicadas. Estas devem ser executadas com agilidade e precisão, a fim de promover as mudanças necessárias e gerar melhoria no serviço (Rediana e Pharmasetiawan, 2017).

Sob essa perspectiva, os medidores inteligentes apresentam-se como importantes ferramentas, caracterizadas usualmente como dispositivos eletrônicos que possuem a capacidade de comunicar informações sobre a medição do consumo, seja este de água, gás ou energia, permitindo assim análise, monitoramento, controle e estudo dos dados obtidos (Elsisi, *et al.*, 2021). Ainda nesse sentido, as redes inteligentes são as responsáveis pela integração das informações e transmissão destas pelas tecnologias emergentes, como os sensores, medidores e controles automatizados, que permitem desenvolver tais atividades.

Com o surgimento e aplicação dessas tecnologias, estão ocorrendo avanços no conhecimento e desenvolvimento dos estudos que permitem que o monitoramento realizado seja cada vez mais completo, fornecendo assim uma ampla gama de informações com relação ao sistema analisado (Stewart, *et al.*, 2018). Apesar disso, Chakraborty *et al.* (2021) destacam que os medidores inteligentes ainda têm enfrentado diversas barreiras para sua aplicação, relacionadas principalmente aos custos associados a aplicação dessas tecnologias. Esse aumento de valor é prejudicial a adesão dessas inovações, pois à medida que os fornecedores aumentam suas despesas para execução do serviço, isso é repassado ao cliente, que, apesar de demorar a compreender a necessidade da melhoria, precisa lidar com o repasse do custo.

Essas tecnologias podem ser aplicadas no contexto da gestão da água por meio da tecnologia da informação e comunicação (TIC) juntamente com a Internet das Coisas (IoT), atuando na medição, detecção de vazamentos, gerenciamento da demanda, automação, redução de custos operacionais e, conseqüentemente, no aumento da eficiência do sistema (Sharma, Seetharaman e Maddulety, 2021). A automação, em particular, pode atribuir praticidade e eficiência ao uso de tais ferramenta, visto que é a operação de máquina ou de sistema automaticamente ou por controle remoto, com a mínima interferência do operador humano (Ribeiro, 2001).

No ramo industrial, a automação já tem se demonstrado uma ferramenta para fornecer meios ao planejamento da produção. A automação na indústria surgiu com o objetivo de proporcionar mecanismos de monitoramento e controle, supervisão, coordenação, otimização e manutenção (Silva, 2019). Porém, com o tempo novas funcionalidades lhe foram atribuídas, sendo ela aplicada hoje também para gerenciamento da produção e auxílio na tomada de decisão gerencial.

Albuquerque (2004) aponta como alternativas de gerenciamento da demanda de água, ações tecnológicas, educacionais, econômicas e regulatórias. Dentre as ações tecnológicas, o

autor cita os sistemas automatizados de monitoramento e controle da rede de distribuição. Conforme Assis (2012), metas podem ser atingidas pela aplicação da automação de um sistema de abastecimento. Dentre elas, é relevante citar:

- Tornar o sistema de captação, tratamento e distribuição de água, maleável às estratégias de operação definidas pelo Centro de Controle Operacional, através dos equipamentos de controle e análise de dados;
- Possibilitar a operação e o acompanhamento à distância, sem a necessidade de deslocamento de pessoal ao ponto monitorado;
- Determinar possíveis pontos de ruptura de redes ou ramais.

Um exemplo de processo automatizado útil ao monitoramento de uma rede de distribuição é a telemetria. Conforme Silva e Moreira (2004, apud Brandão, *op. cit.*, p. 22), “conceitua-se telemetria como o processo de medição remota da variação das características dos objetos monitorados [...] que transfere os resultados coletados para uma estação distante, onde serão analisados e consistidos”. Nesse sentido, a telemetrização desfaz a necessidade do deslocamento de um operador até o medidor, reduzindo o tempo de resposta.

A título de exemplo, uma alternativa útil para acelerar o combate às perdas é a telemetrização dos hidrômetros instalados nos grandes consumidores, acoplados a sensores de pressão, úteis para a apuração dos volumes, o controle das vazões horárias e o monitoramento das pressões na rede de distribuição (ABES, *op. cit.*).

Nessa perspectiva, os sensores de fluxo são instrumentos que desempenham uma importante função nos sistemas inteligentes de medição, sendo os dispositivos responsáveis por permitir a medição correta dos dados e, por meio de associação com um microcontrolador, envio desses dados para o servidor. Porém, para que essas tecnologias sejam empregadas satisfatoriamente nos sistemas, faz-se necessário confiança em seus dados. Sabe-se que todos os dispositivos possuem faixas de trabalho e margens de erro, e por isso, é essencial que ao se aplicar qualquer instrumento, as análises sejam realizadas considerando esses fatores limitantes.

2.6.3. Internet das Coisas (IoT)

No contexto de desenvolvimento tecnológico digital, o surgimento de sistemas automatizados com conexão à internet tem se acelerado a fim de proporcionar novas

ferramentas destinadas aos mais variados processos. É o ambiente no qual surge a Internet das Coisas (*Internet of Things*), que segundo Magrani:

De maneira geral, pode ser entendido como um ambiente de objetos físicos interconectados com a internet por meio de sensores pequenos e embutidos, criando um ecossistema de computação onipresente (ubíqua), voltado para a facilitação do cotidiano das pessoas, introduzindo soluções funcionais nos processos do dia a dia. (2021, p. 20)

A hiperconectividade que tem se instalado em todos os setores da sociedade tem gerado maior compartilhamento de dados entre pessoas e máquinas, proporcionado o desenvolvimento de soluções eficientes para problemas encontrados no dia a dia. De acordo com Gonçalves, Luciani e Mafra (2023):

A sociedade da Revolução Industrial 4.0 já conecta os conceitos de desenvolvimento tecnológico e de inovação com a ideia do ambiente lógico e digital, principalmente com a ideia de Internet. Com isso, se percebe forte conexão entre o conceito de desenvolvimento e as inovações implementadas no universo de tecnologia digital. (p. 1126-1127)

Pela hiperconectividade, surge o *Big Data*, que é a quantidade massiva de dados produzidos por diferentes recursos tecnológicos (Rautenberg e Carmo, 2019) e que podem ser explorados para se obter informações sobre qualquer tópico. Tais informações, obtidas a partir da análise dos dados, podem agilizar processos e facilitar o desenvolvimento de soluções, representando um item preponderante dentre os benefícios atrelados ao acesso à informação e à ciência de dados (*Data Science*).

Dentre as características do *Big Data*, é válido para este trabalho citar duas:

- Velocidade: os dados são gerados mais rapidamente, à medida que os recursos computacionais têm mais poder de produção, captura e processamento de dados;
- Veracidade: à medida que os dados obtidos são mais precisos, melhores informações podem ser extraídas deles.

2.6.4. Fornecimento de dados em tempo real

Uma característica importante a ser encontrada no gerenciamento de um sistema de abastecimento, especificamente na macromedição, e que pode ser obtida através da automação, é o fornecimento de dados de consumo em tempo real, sendo para isso realizada a medição constante do mesmo. O desejável para um sistema de abastecimento é que haja monitoramento contínuo do sistema de macromedição totalmente telemetrizado, a fim de que haja contínuo acompanhamento das vazões no sistema.

Em caso de potenciais avarias no sistema ou consumo não autorizado, tal monitoramento pode garantir redução no tempo gasto para a tomada de decisão e ação para solucionar o problema enfrentado, como foi dito por Liu e Mukheibir (2018) a medição em tempo real facilita a detecção de vazamentos, tanto na propriedade do usuário quanto na rede de abastecimento, e permite reparos mais rápidos que proporcionarão economia de água e recursos.

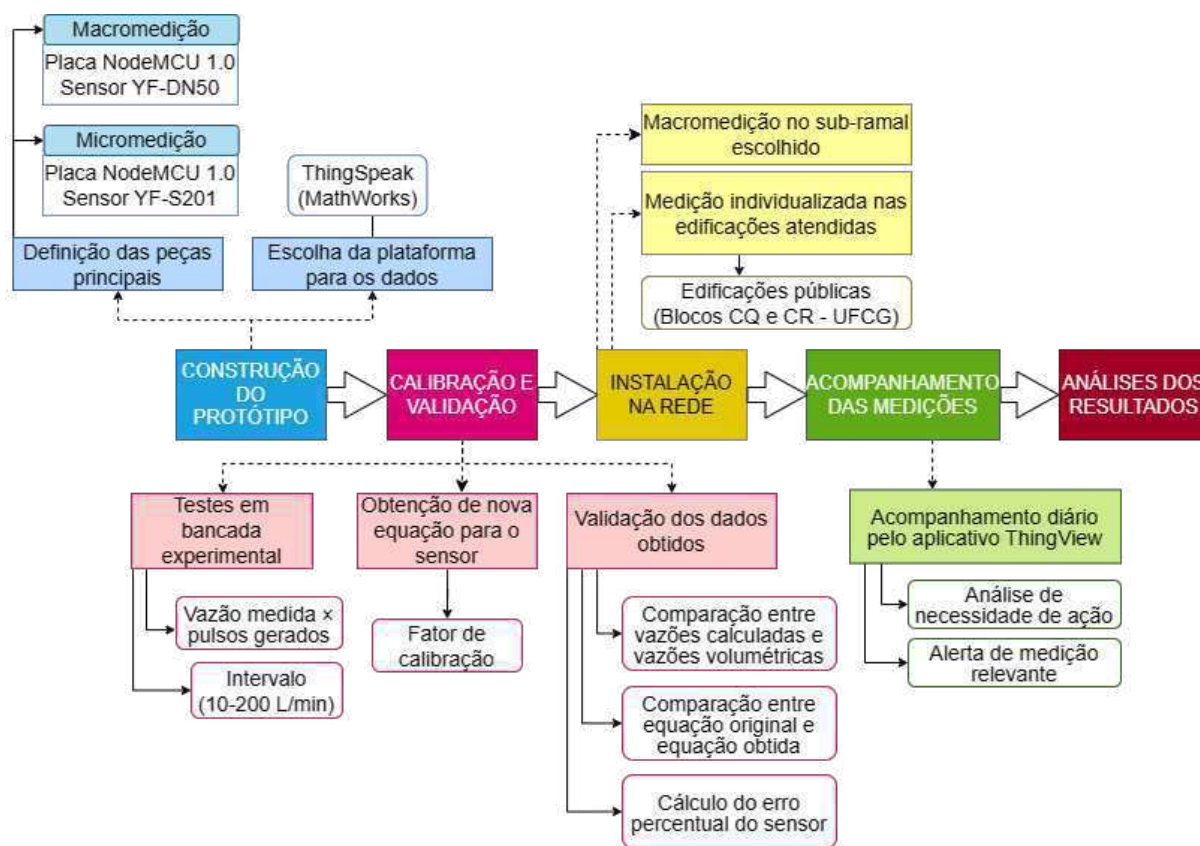
Também salientou Ferreira (2022), após a identificação da existência de uma fuga, o tempo gasto para sua efetiva localização e a sua reparação é um ponto-chave na gestão das perdas reais, visto também que, a rapidez e qualidade das reparações efetuadas sobre as fugas detectadas na rede permitem a diminuição do volume de perdas e a garantia de que este se mantém em níveis controlados (EPAL, 2017).

Tem-se, portanto, que a rapidez na informação acerca do problema é um fator crítico para a eficiência das soluções elaboradas diante dos problemas encontrados. O desafio de operação em tempo real passa pelo conhecimento do comportamento das redes frente às manobras e também do padrão de consumo por parte dos usuários (Lima e Brentan, 2019).

3. METODOLOGIA

O objetivo desse trabalho é criar um sistema de macromedição automatizado em tempo real e, para isso, a metodologia subdivide-se em cinco etapas fundamentais, sendo elas: i) construção do protótipo, ii) calibração e validação, iii) instalação na rede, iv) acompanhamento das medições e v) análises dos resultados. As etapas da metodologia desta pesquisa estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3 – Etapas da metodologia



Fonte: Autor (2023)

3.1. Etapa I - Construção do Protótipo

A concepção do protótipo foi dividida em duas fases. A primeira fase referiu-se a escolha dos componentes utilizados para a macromedição (*hardware*) e desenvolvimento das programações (*software*). Na segunda fase definiu-se a plataforma para armazenamento e acompanhamento dos dados medidos.

A finalidade foi criar um sistema de macromedição automatizado eficiente e de baixo custo em relação às alternativas comerciais, de fácil manutenção e reduzido consumo energético, e que permitisse monitoramento de vazões e consumo em redes de abastecimento em tempo real, controle de volume consumido, comparação com a medição individualizada (micromedição) e detecção de perdas. Esta é a primeira ação de um trabalho que será ampliado posteriormente, em pesquisa de doutorado, com a aplicação em larga escala no campus sede da UFCG.

3.1.1. *Hardware*

O *hardware* foi desenvolvido para o macromedidor, sendo as peças principais uma placa controladora eletrônica do tipo NodeMCU 1.0 e um sensor de fluxo YF-DN50. NodeMCU 1.0 (Figura 4), é um microcontrolador de placa única, ou seja, um dispositivo eletrônico dotado de processador e memórias, podendo ser programado para realizar tarefas específicas de maneira eficaz e ocupando pouco espaço. Amplamente utilizado na automação de tarefas que demandem conexão com a internet, como nos sistemas de IoT (internet das coisas), pois um de seus componentes é o chip ESP8266 (Esp-12E), que possui conexão Wi-Fi integrada. É um dispositivo caracterizado pela praticidade, podendo ser programado em linguagem Lua ou no ambiente proprietário do Arduino (microcontrolador mais famoso), em linguagem baseada em C++, como também é capaz de se conectar aos mesmos sensores usados.

Figura 4 – Placa microcontroladora NodeMCU 1.0 (Esp-12E)



Fonte: Autor (2023).

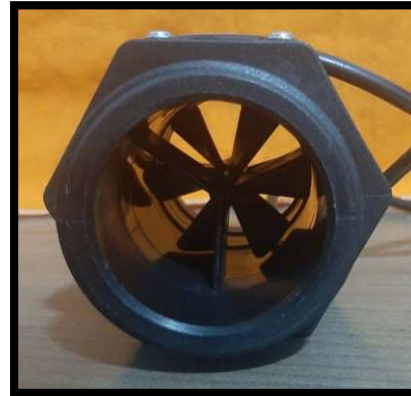
O sensor de fluxo YF-DN50, ilustrado nas Figuras 5 e 6, destina-se ao uso em sistemas automatizados de controle de fluxo e consumo de água. A família de sensores a que o mesmo pertence é, hoje, largamente utilizada em automações que utilizam microcontroladores.

Figura 5 – Sensor YF-DN50



Fonte: Autor (2023)

Figura 6 – Vista interna do sensor

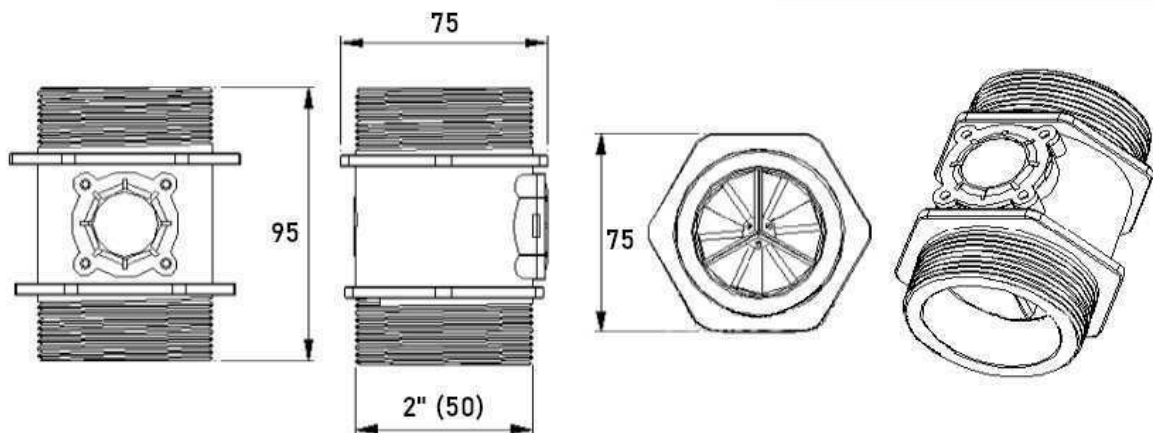


Fonte: Autor (2023)

A escolha se deu pela possibilidade de uso em conjunto com as plataformas microeletrônicas, sendo similar ao sensor de fluxo YF-S201 (apresentado posteriormente). Sua praticidade, facilidade de instalação (pode ser instalado na rede sem necessidade de um profissional com qualificação específica) e baixo custo em relação a outros sensores também foram fatores importantes para escolha.

O sensor é caracterizado como um medidor tipo turbina, formado por uma carcaça de plástico que abriga um conjunto interno de pás (rotor) e um sensor de efeito Hall. Quando instalado na tubulação, a água passa pelo sensor e o rotor gira, variando sua velocidade de acordo com a vazão. Há um ímã na ponta do rotor, que gira junto com o mesmo. O sensor de efeito Hall detecta esse movimento e envia a quantidade de rotações (frequência) para o microcontrolador na forma de pulsos. As dimensões do sensor, em milímetros, estão apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – Dimensões do sensor YF-DN50



Fonte: Adaptado de Whiteint (Dimensões em mm).

[https://www.whiteint.com.au/documents/DataSheets/806068_102.pdf]

As especificações do sensor estão descritas na Tabela 2. Vale observar que o sensor utilizado neste trabalho é fabricado pela *Louchen ZM*, porém não foi encontrado qualquer documento técnico elaborado por este fabricante a respeito dele. Em virtude disso, utilizou-se como guia o datasheet produzido pela *Whiteint*, visto que se corresponde ao sensor de fluxo de mesmo código e mesmas medidas.

Tabela 2 – Parâmetros técnicos do sensor de fluxo YF-DN50


PARÂMETRO	VALORES
Tensão mínima de operação	5V
Corrente máxima de operação	15mA (5V DC)
Intervalo de tensão de operação	5 ~ 18 V (DC)
Temperatura máxima de utilização	80 °C
Pressão de operação	< 2,0 MPa
Tensão máxima do pulso	> 4,5 V DC (tensão de alimentação 5V)
Tensão mínima do pulso	< 0,5 V DC (tensão de alimentação 5V)
Intervalo de medição	10-300 L/min
Precisão	±3%
Tempo de subida do sinal de saída	0,04µs
Tempo de queda do sinal de saída	0,18µs
Equação característica	$f = 0,2 \times Q$ (Q = L/min, uso horizontal)

Fonte: Adaptado de Whiteint.






[https://www.whiteint.com.au/documents/DataSheets/806068_102.pdf]

Além do sensor de fluxo e da placa controladora, também foram utilizados os componentes apresentados no Quadro 3:

Quadro 3 – Demais componentes do sistema

COMPONENTE	FUNÇÃO
	Protoboard 400 pontos: utilizada para posicionar a placa controladora e permitir as conexões entre a mesma e os jumpers. Pode ser substituída posteriormente por uma placa de circuito impresso (PCI).

(continuação)

	<p>Jumpers: fios utilizados para conectar o sensor à placa controladora. Havendo substituição da protoboard pela PCI, não seriam necessários.</p>
	<p>Fonte de alimentação DC: responsável por fornecer energia ao sistema.</p>
	<p>Caixa plástica: utilizada para proteger o sistema de intempéries.</p>
Para instalação na rede:	
	<p>Adaptador roscável e soldável PVC 60mm × 2": utilizado para conectar o sensor (DN 50mm) à tubulação (DN 60 mm).</p>
	<p>Luva roscável 2": utilizada para conectar o sensor ao adaptador roscável.</p>

Fonte: Autor (2023). (Adaptado do Google)

Para acompanhamento dos consumos individuais nas edificações, utilizou-se hidrômetros digitais desenvolvidos e calibrados por Brandão (*op. cit.*). Possuem funcionamento similar ao macromedidor, sendo também composto por uma placa microcontroladora (NodeMCU 1.0) e por um sensor de fluxo (YF-S201), apresentado na Figura 8. A diferença entre o sensor YF-S201 e o YF-DN50 consiste, além do diâmetro, na geometria interna de funcionamento: enquanto este é do tipo turbina e o fluxo é paralelo ao eixo rotor, aquele é do tipo unijato e com fluxo perpendicular ao eixo rotor.

O princípio de funcionamento, porém, é o mesmo para ambos: contagem de pulsos através do efeito Hall.

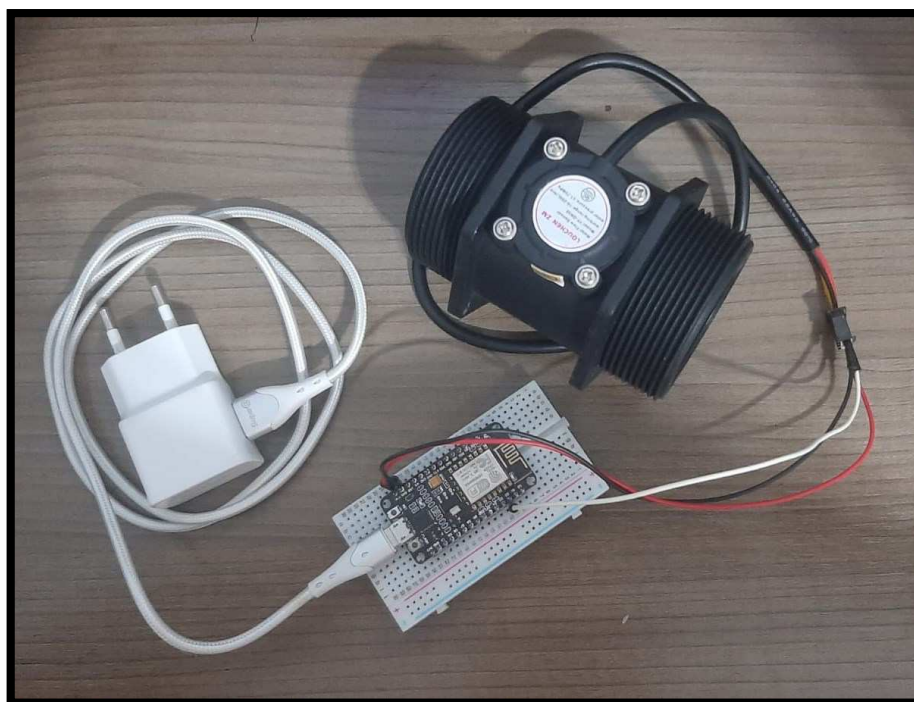
Figura 8 – Sensor de fluxo YF-S201



Fonte: Autor (2023).

O protótipo construído está apresentado na Figura 9. Ele é composto de uma placa microcontroladora NodeMCU montada sobre a protoboard, na qual são conectados 3 jumpers que estão ligados ao sensor de fluxo: 1 de terra (preto), conectado à porta GND da placa, 1 de alimentação 5V em corrente contínua (vermelho), conectado à porta *Vin*, e 1 de sinal (branco), conectado à porta D2 da placa. O sistema é alimentado pela fonte DC 5V através de saída Micro USB.

Figura 9 – Protótipo desenvolvido



Fonte: Autor (2023).

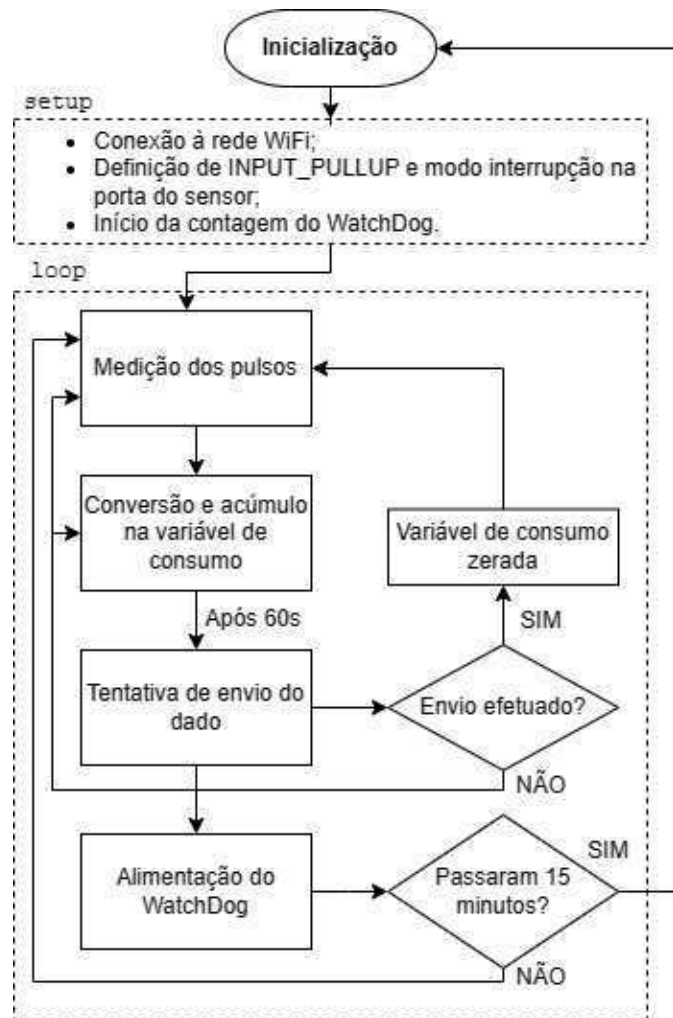
3.1.2. *Software*

A placa NodeMCU oferece suporte para programação através da plataforma de desenvolvimento Arduino, facilitando o desenvolvimento de projetos IoT devido à ampla biblioteca de funções disponíveis ao acesso e ao auxílio por parte comunidade de desenvolvedores da plataforma. A estrutura de um código para Arduino segue um padrão específico que inclui funções essenciais e estruturas de controle. As principais funções em que se apresenta o código são:

- Função `setup()`: chamada apenas quando o Arduino é inicializado. Nela são definidas as configurações iniciais do projeto, como a inicialização do pino do sensor, a configuração da velocidade da porta serial, a definição de variáveis iniciais, a conexão com a rede WiFi, entre outras tarefas que precisam ser realizadas apenas uma vez no início do programa;
- Função `loop()`: executada repetidamente após a função `setup()`. Ela contém o código principal do programa, onde a lógica do projeto é implementada. Nela são definidas todas as ações que o microcontrolador deve realizar continuamente, como a leitura dos dados do sensor de fluxo, o processamento deles e o envio para a plataforma de monitoramento;
- Função personalizada de contagem: são criadas para realizar tarefas específicas, tornando mais fácil o gerenciamento do código. Para este trabalho, previu-se a implementação de uma função de contagem de pulsos.

O código implementado no protótipo obedeceu ao funcionamento descrito na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma de funcionamento do código implementado



Fonte: Autor (2023).

A sequência de funcionamento do *software* está detalhada a seguir:

- Inicialmente há a inserção das bibliotecas e definição dos parâmetros básicos, como nome da rede WiFi e senha, além de chave de dados do ThingSpeak e número do canal;
- Após isso, no *setup*, o sistema se conecta à rede WiFi para proceder ao envio de dados.
 - Com a conexão, inicia-se um cliente no *ThingSpeak*;
- Ainda no *setup*, define-se o pino D2 como receptor de interrupção externa, caracterizada pelo movimento do sensor que envia um sinal para a placa;
 - A interrupção serve para que outras ações possam ser desempenhadas sem perda de desempenho no restante do sistema;
 - Os pulsos são contados através de uma função de incremento de interrupção, denominada neste trabalho *ContaPulsos ()*;

- Quando há conexão, o sensor começa a medir a quantidade de pulsos por segundo gerados pela passagem da água na tubulação do sub-ramal. O valor é dividido pelo fator de calibração e acumulado na variável de consumo;
- Passados 60 segundos, há a tentativa de envio do dado da variável para o *ThingSpeak*. Em caso de envio bem-sucedido, o valor é armazenado no canal e campo do ThingSpeak definidos previamente, a variável é zerada e o WatchDog é alimentado. Não havendo envio bem-sucedido, ocorre uma nova tentativa.
 - Nesse intervalo de tempo, quaisquer valores de pulsos medidos serão acumulados na variável de consumo, que só é zerada quando o envio é efetivado. Esse ciclo de medições e envio se repete a cada minuto;
 - Para contagem do tempo, usou-se a função nativa `millis()`;
- Após 15 minutos de funcionamento, o módulo *WatchDog* reseta internamente a placa, fazendo com que todas as atividades até aqui descritas se iniciem novamente.

3.1.3. Plataforma para armazenamento e acompanhamento dos dados medidos

A plataforma escolhida para armazenar os dados enviados pelo NodeMCU foi o *ThingSpeak*TM, que é uma plataforma de análise de dados dedicada ao uso por protótipos e sistemas de IoT. Ela serve para visualizar e analisar dados enviados em tempo real através de conexão por nuvem. A plataforma gera visualizações instantâneas dos dados recebidos, e estes podem também ser tratados através de códigos no MATLAB®.

A plataforma possui alguns benefícios que contribuíram para sua escolha, dentre eles:

- Fácil configuração de dispositivos para enviar dados para a plataforma;
- Ausência de necessidade de custos com servidor ou desenvolvimento de software extra para armazenamento dos dados;
- Visualização dos dados em tempo real;
- Programação de análises automáticas a partir de cronogramas ou eventos específicos;
- Ativação de gatilhos – ações a serem realizadas com especificações feitas em torno dos dados obtidos, como envio de mensagens por email.

3.1.4. Comparação de custos

Posteriormente, realizou-se comparação dos custos associados à construção do protótipo com os custos de alternativas comerciais que possuam funcionamento semelhante ao especificado neste trabalho, apresentando a diferença percentual dos valores e as vantagens e desvantagens associadas a cada uma delas.

3.2. Etapa II - Calibração e Validação

Este procedimento foi necessário para tornar a medição mais eficiente, reduzindo os possíveis erros associados ao processo de leitura.

A calibração se deu através da instalação do sensor YF-DN50, em laboratório, em uma rede de 50 mm, conectada a uma bomba hidráulica. O sensor informa a quantidade de pulsos lida e relaciona com a vazão medida na saída da rede para obter a equação característica do sensor de fluxo.

3.2.1. Testes em bancada experimental

O procedimento foi realizado através da instalação do sensor em uma rede de água do Laboratório de Hidráulica I (Bloco CR) localizado na Universidade Federal de Campina Grande. O sensor de fluxo foi alocado, conforme a Figura 11, em um sistema formado por uma bomba hidráulica conectada a uma tubulação de PVC de água fria, com diâmetro nominal de 50 mm (DN 50), tendo ao final da tubulação a saída para uma caixa de controle com volume previamente calibrado de 114 litros (Figura 12).

A bomba gera o fluxo na tubulação e o sensor o detecta. A informação é enviada à placa NodeMCU, que apresenta no monitor serial do computador a quantidade de pulsos por segundo gerados pela passagem da água. Uma esquematização do sistema está ilustrado pela Figura 13.

Figura 11 – Sensor instalado na tubulação



Fonte: Autor (2023).

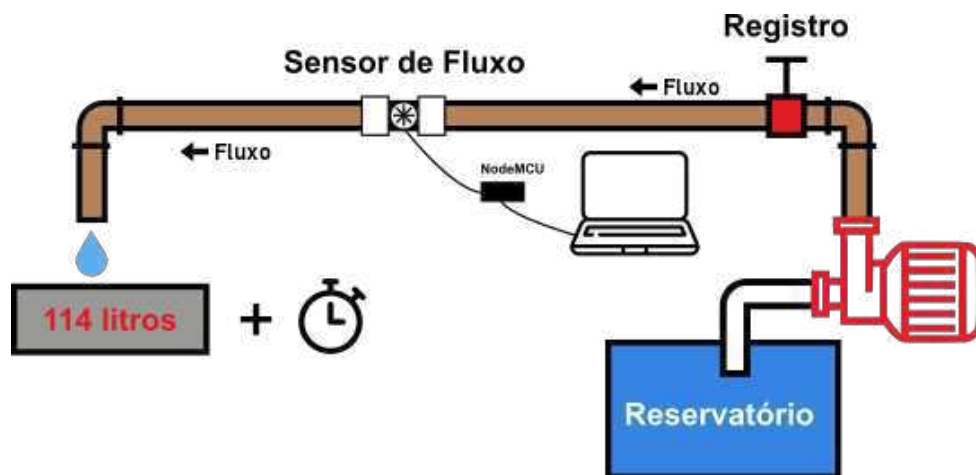
Figura 12 – Caixa para medição da vazão volumétrica



Fonte: Autor (2023).

Destaca-se que no sensor há a informação de um intervalo de funcionamento diferente do que está registrado no *datasheet* (10-300 L/min). Para estudo em laboratório, adotou-se o intervalo registrado no sensor, que é 10-200 L/min. Também procurou-se descobrir se o erro de 3% fornecido pelo fabricante seria constatado em laboratório.

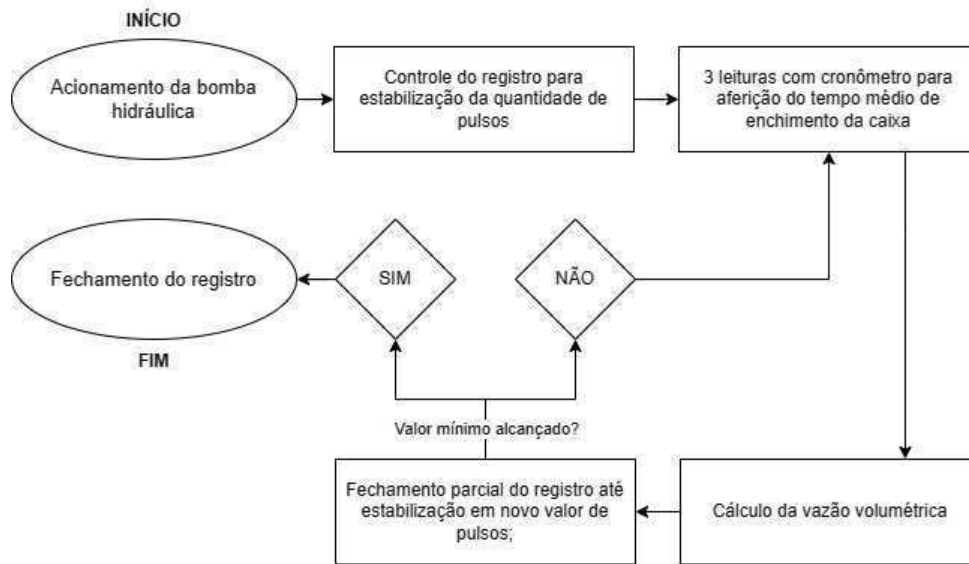
Figura 13 – Esquematização do sistema de calibração



Fonte: Autor (2023).

Um fluxograma do procedimento de calibração é apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Etapas do processo de calibração

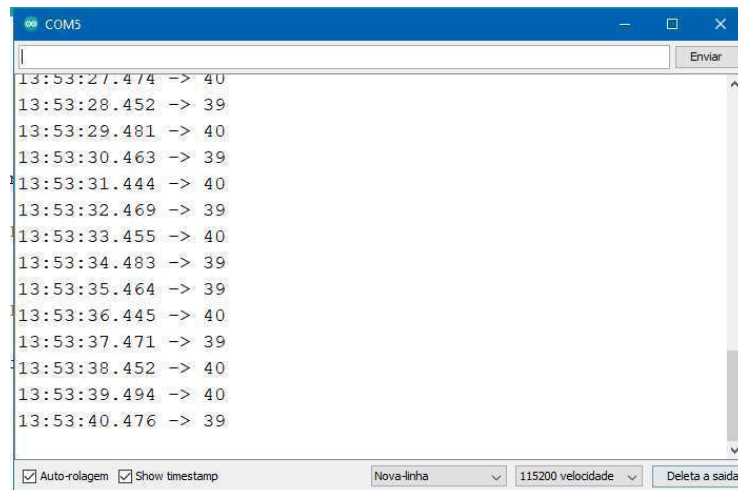


Fonte: Autor (2023).

O sensor envia sinais de pulso a cada segundo que são registrados pelo monitor serial. Os pulsos foram contados após estabilização e calculou-se a média correspondente a um intervalo de tempo maior que 30 segundos. Esse valor médio foi associado a cada valor pré-determinado (40, 35, 30, ..., 5). Para início, partiu-se do valor máximo de pulsos observados no monitor serial quando o registro estava totalmente aberto: aproximadamente 39 pulsos, havendo oscilação até 40. Escolheu-se realizar a primeira rodada de leituras dentro do intervalo nominal de 5 em 5 pulsos decrescentes, sempre aguardando a estabilização da leitura de pulsos por segundo (Figura 15).

A quantidade mínima de pulsos medida foi 5 pulsos/segundo. Não foi possível realizar leituras abaixo deste valor por questões operacionais (a bomba seria forçada a trabalhar em um regime de vazão muito baixo, o que poderia danificá-la). Na segunda rodada de leituras, foram realizadas medições entre os intervalos obtidos após a primeira rodada, realizando-se ao todo 16 medições. Assim, foi possível relacionar a quantidade de pulsos verificada pela placa microcontroladora com a vazão volumétrica medida.

Figura 15 – Monitoramento de pulsos através da porta serial



Fonte: Autor (2023).

3.2.2. Obtenção da nova equação descritiva do sensor

A equação descritiva do sensor, a ser aplicada durante utilização em tubulações horizontais está apresentada na Equação 1. A frequência (f) é descrita em pulsos/segundo e a vazão (Q) é descrita em L/min.

$$f = 0,2 * Q \quad (1)$$

A aplicação dessa equação não é realizada diretamente, visto que ela utiliza a vazão para informar a quantidade de pulsos quando o objetivo do sensor é o inverso: obter a vazão mediante os pulsos. Para isto, foi necessário obter a quantidade de pulsos com a mudança de estado da porta do sensor, detectada pelo microcontrolador através da função *attachInterrupt*, sob ação *FALLING*. Neste caso, a porta digital na qual o sensor está conectado registra uma mudança de *HIGH* para *LOW*.

Para se obter a vazão a partir da frequência, tendo seu resultado em L/s, utiliza-se a Equação 2. Essa descreve a relação entre frequência de pulsos e vazão descrita pelo fabricante, através do coeficiente 0,0833.

$$Q = \frac{5 * f}{60} \rightarrow Q = 0,0833f \quad (2)$$

Este é o padrão utilizado posteriormente no código elaborado para medição do volume consumido. O sensor informa a quantidade de pulsos e o controlador os multiplica pelo fator de calibração para obter o valor de vazão no segundo da medição. A soma dos valores obtidos ao

longo de 60 segundos corresponde ao volume consumido. Após a calibração, pelo gráfico obtido, calculou-se o novo fator de calibração, para substituir o valor de 0,0833.

3.2.3. Validação

Ao fim da calibração, após as leituras de todos os valores, os mesmos foram alocados em uma tabela para obtenção do gráfico Vazão × Pulsos/Segundo. Com esse gráfico, por meio do método de regressão linear, foi possível obter uma nova equação descritiva do sensor e, conseqüentemente, um novo fator de calibração. A vazão volumétrica foi calculada a partir da Equação 3, sendo t_m o tempo médio necessário para encher a caixa com a vazão definida:

$$Q = \frac{114}{t_m} \quad (3)$$

Os valores de vazão obtidos pelas equações do fabricante (Equações 1 e 2) e da equação obtida com a calibração foram comparados aos valores de vazão volumétrica obtidos (Equação 3), a fim de se calcular o erro percentual do sensor com ambos os fatores de calibração. O fator que obtivesse maior aproximação com a realidade seria então adotado, além de analisar se o erro é ou não tolerável.

3.3. Etapa III - Instalação na rede

Após a calibração e validação, procedeu-se a instalação dos sistemas macro e micro medidores nos locais escolhidos.

A área escolhida para instalação do sistema de macromedição foi o setor C2 do campus sede da UFCG. O sistema de abastecimento do campus é composto de três reservatórios sendo um elevado e dois apoiados. Deles derivam dois ramais com 100 mm de diâmetro que abastecem o setor C2. O primeiro ramal parte do reservatório elevado e alimenta 11 edificações a jusante, enquanto o segundo ramal sai do reservatório apoiado leste e atende outras 22 edificações. A rede do setor C2 está apresentada na Figura 16.

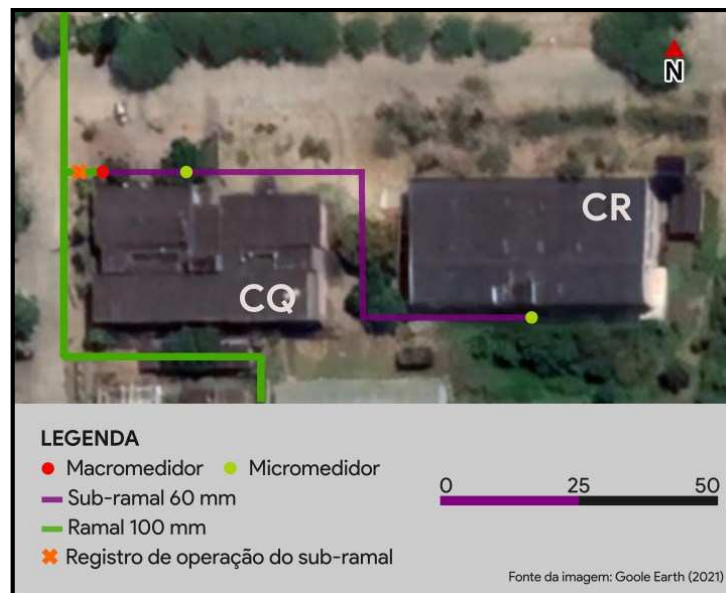
Figura 16 – Rede de abastecimento de água do setor C2 da UFCG, campus sede



Fonte: Autor (2023).

Do ramal que sai do reservatório apoiado leste, deriva-se o sub-ramal escolhido para instalação do equipamento (60 mm), que atende as edificações CQ (sede da AESA, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais e Centro de Ciência e Tecnologia) e CR (Laboratório de Hidráulica I). A área de estudo está apresentada na Figura 17.

Figura 17 – Área de estudo



Fonte: Autor (2023).

O propósito da instalação do sensor no sub-ramal escolhido foi iniciar o projeto de monitoramento remoto do consumo de água na rede de abastecimento do setor C2. Neste primeiro trabalho, pretendeu-se observar o comportamento do sensor na rede e avaliar sua eficiência, bem como da plataforma de armazenamento e acompanhamento de medições (a ser apresentada posteriormente) a fim de detectar as falhas a serem corrigidas quando da instalação do sensor em maior escala no setor C2. Tal instalação será realizada posteriormente em pesquisa de doutorado conduzida dentro do grupo de pesquisa de Sistemas de Automação de Recursos Hídricos.

3.3.1. Instalação do macromedidor

O sensor foi instalado no sub-ramal escolhido, posicionado no terreno em frente ao bloco CQ. A instalação está apresentada na Figura 18. O sensor foi conectado à placa NodeMCU através de um cabo de rede, em razão da necessidade de aproximar o microcontrolador ao sinal *WiFi*. A alimentação do sistema foi realizada com uma extensão conectada a uma tomada próxima ao local. O conjunto de processamento foi alocado dentro da caixa de proteção, como apresentado na Figura 19.

Para fins de instalação, foi necessário utilizar um cabo de rede RJ45 para prolongar a conexão do sensor de fluxo (instalado na tubulação) à placa microcontroladora, posicionada mais próxima da edificação para melhor captar o sinal da rede WiFi. Dentro do cabo de rede há 8 fios, e soldaram-se os jumpers a um fio interno do cabo. A placa microcontroladora e a fonte de alimentação foram abrigadas na caixa plástica para proteção contra intempéries. A fonte foi conectada à tomada mais próxima através de uma extensão elétrica.

Figura 18 – Macromedidor instalado na rede



Fonte: Autor (2023).

Figura 19 – Caixa com o microcontrolador



Fonte: Autor (2023).

Para instalar o sensor na rede, foi necessário utilizar um par de luvas roscáveis de 2” e um par de adaptadores 60mm×2”, bem como cola para tubos.

Após a instalação, verificou-se a necessidade de implementar no código uma ferramenta que reiniciasse o microcontrolador, em virtude de travamentos recorrentes na conexão com o servidor *ThingSpeak*. A ferramenta utilizada foi o *timer WatchDog*, que se trata de um temporizador que dispara a reinicialização do sistema caso alguma condição não seja atendida ou passe um determinado período de tempo. Implementou-se então um *reset* temporal, a ser realizado na placa NodeMCU a cada 15 minutos, fazendo com que a conexão com o *ThingSpeak* permaneça constante.

Posteriormente passou-se a um período de acompanhamento simples dos dados para verificar alguma anomalia ou interferência no funcionamento do sensor. Verificou-se a necessidade de implementar uma correção na ação de envio dos dados, visto que a primeira tentativa de conexão do sistema com o servidor, era frequentemente mal sucedida. Na segunda tentativa, entretanto, a conexão era bem-estabelecida.

3.3.2. Instalação dos micromedidores

A instalação dos micromedidores individuais foi feita nos pontos de entrada de água das edificações atendidas pelo sub-ramal onde foi instalado o macromedidor (blocos CQ e CR). Para instalação do sensor YF-S201 na tubulação do bloco CR, foi necessário usar duas luvas PVC 25mm × ½”, já para a tubulação do bloco CQ foram necessárias duas luvas de 20mm × ½”. As instalações em ambos os blocos estão apresentadas nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Micromedidor instalado no bloco CR



Fonte: Autor (2023).

Figura 21 – Micromedidor instalado no bloco CQ



Fonte: Autor (2023).

3.3.3. Relação entre macromedição e micromedição

A micromedição só pôde ser viabilizada no dia 11/08, o que reduziu o alcance do acompanhamento do consumo diretamente nos blocos. Outro fator que diminuiu a eficiência desta foi a conexão com a internet, pois no bloco CR o sinal de WiFi na área do medidor é fraco, e no bloco CQ, embora houvesse sinal forte, a conexão com o ThingSpeak estava inicialmente instável. Entretanto, a programação foi construída de tal modo que, em caso de ausência de conexão para envio do dado, o valor medido seria acumulado na variável de consumo impedindo a sua perda. Após um período de ajustes os problemas foram sanados e com os três medidores em conjunto foi possível realizar uma micromedição satisfatória.

3.4. Etapa IV - Acompanhamento das medições

Com o sistema macromedidor instalado, procedeu-se ao acompanhamento dos dados obtidos através do aplicativo móvel *ThingView*, destinado à visualização de dados da plataforma *ThingSpeak*. A primeira função desse acompanhamento foi observar possíveis anormalidades no funcionamento do sistema, indicando a necessidade de se realizar alguma ação de correção

Para que o acompanhamento das medições se tornasse mais eficiente, também foi utilizada uma ferramenta nativa do *ThingSpeak* de acionamento de gatilhos a partir dos dados obtidos: o *React*. É uma ferramenta que trabalha com os aplicativos ThingHTTP, ThingTweet

e Análise MATLAB para realizar alguma ação quando o dado no canal atender a alguma condição (MathWorks, 2023).

Para este trabalho, a ferramenta foi programada para enviar um e-mail sempre que houvesse valor maior que 1, lido pelo macromedidor. Com o alerta criado, as medições seriam mais eficientes pois qualquer valor fora do padrão poderia facilmente ser detectado e analisado rapidamente, independente da informação de consumo ser formada.

3.5. Etapa V – Análises dos resultados

Durante dois meses de medições, realizou-se o acompanhamento diário dos dados, analisando possíveis padrões encontrados nos valores e nos horários em que foram lidos, observando diferenças entre os valores fornecidos pela macromedição e pela micromedição e apontando possíveis razões para as tais. Procurou-se verificar ainda, a partir dos dados, se existem consumos não controlados de água na rede de abastecimento.

As edificações CQ e CR possuem reservatórios de água que são alimentados pela tubulação de entrada de água. Essa informação é importante por significar que os consumos internos não representarão medição no mesmo instante nos sensores, pois a água na tubulação só se movimentará quando for necessário reabastecer o reservatório, e isto ocorrerá de acordo com a boia de nível. Logo, não eram esperados valores constantes de medição, e sim períodos mais longos com consumo nulo.

O sensor de macromedição foi instalado no dia 21 de junho de 2023, e desse dia até o final do mês de junho acompanharam-se as medições com objetivo de detectar e corrigir possíveis falhas no funcionamento do sistema. Os dados utilizados foram obtidos partir do mês de julho até o final do mês de agosto, para que a análise pudesse ser realizada com maior eficiência.

4. RESULTADOS

4.1. Análise de custos e parâmetros

Os custos referentes ao desenvolvimento do protótipo estão apresentados na Tabela 3, sendo realizada a tomada de preços no dia 09/08/2023. O custo total foi de R\$ 376,53, não considerando a mão-de-obra. Na tabela estão dispostos também os custos das peças necessárias à sua instalação na rede, que neste trabalho foram de R\$ 58,99, e das peças extras, no valor de R\$ 40,26.

Tabela 3 – Custos de desenvolvimento do protótipo e instalação na rede de abastecimento

Componente	Preço unit.	Quant.	Total	Final
<i>Protótipo</i>				R\$ 376,53
Sensor YF-DN50	R\$ 241,54	1	R\$ 241,54	
Placa NodeMCU 1.0	R\$ 58,05	1	R\$ 58,05	
Carregador Micro USB 5V	R\$ 31,85	1	R\$ 31,85	
Caixa plástica 152x109x67mm	R\$ 28,08	1	R\$ 28,08	
Protoboard 400 furos	R\$ 16,05	1	R\$ 16,05	
Jumpers	R\$ 0,32	3	R\$ 0,96	
<i>Instalação na rede</i>				R\$ 58,99
Adaptador PVC soldável 60mm × 2"	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00	
Luva roscável 2"	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00	
Cola para canos	R\$ 18,99	1	R\$ 18,99	
<i>Extras</i>				R\$ 40,26
Cabo de internet (5m)	R\$ 16,72	2,5 m	R\$ 8,36	
Extensão elétrica	R\$ 28,90	1	R\$ 28,90	
Fita isolante	R\$ 3,00	1	R\$ 3,00	

Fonte: Adaptado de Google (2023).

O custo gerado com o desenvolvimento do protótipo é baixo em comparação com outras alternativas comerciais, visto que o propósito é utilizar o sistema em larga escala. Diminuir o custo do sistema é facilitar sua implantação e proporcionar aumento nos índices de macromedição, e conseqüentemente, permitir que mais pessoas e organizações tenham acesso a tecnologias de medição de água, especialmente em áreas com recursos limitados, promovendo a gestão eficiente dos recursos hídricos. Além disso, sistemas mais baratos possuem custos de implementação e instalação mais baixos, especialmente vantajoso para pequenas comunidades, empresas de menor porte e locais com orçamentos limitados.

Um sistema mais acessível pode incentivar a adoção em maior escala para monitorar o consumo de água em mais locais e aumentar a disponibilidade de dados precisos, melhorando

a observação e compreensão dos padrões de uso de água, a detecção de anomalias e a maior agilidade na tomada de decisões por parte dos gestores.

O incentivo ao desenvolvimento de sistemas mais baratos também pode promover a inovação em tecnologias de medição, estimulando a criação de soluções mais eficientes e acessíveis por parte de pesquisadores e empresas, fornecendo aos gestores ferramentas modernas e mais eficientes.

É possível citar ainda como benefício do sistema desenvolvido, a ampliação do acesso à medição de água. Por exemplo, municípios e comunidades mais carentes podem ser capacitados a monitorar seu uso de água, tomar medidas para reduzir o consumo e influenciar positivamente a conscientização sobre a gestão da água, demonstrando compromisso com o bem-estar ambiental.

Quanto à comparação com as alternativas comerciais, algumas das opções encontradas para venda não possuem as mesmas funções que o sistema desenvolvido neste trabalho. Entretanto, a relação de preços foi feita com base em ferramentas que mais se aproximem da proposta aqui apresentada. As comparações de peças e características estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação de sistemas com alternativas comerciais

Dispositivo	Fabricante	Preço (R\$)	%	Digital	Remoto
Sistema desenvolvido	Autor	376,53	**	Sim	Sim
<i>Tipo Woltmann</i>					
Woltmann WS Vertical	Hidrometer	1.690,00	349%	Não	Possível
<i>Hidrômetro multijato</i>					
Hidrômetro Multijato MJ-H	Hidrometer	883,50	135%	Não	Possível
<i>Ultrassônico</i>					
Hidrômetro Ultrassônico Hydrus	Diehl Metering	6.120,00	1525%	Sim	Sim
Medidor de Vazão TUF-2000M	PRODCA	1.769,00	370%	Sim	Não
<i>Eletromagnético</i>					
Optiflux KC4000F/6	Krhone Conaut	5.250,00	1294%	Sim	Possível
Medidor de Vazão Eletromagnético	ECR	12.099,00	3113%	Sim	Possível

Fonte: Autor (2023).

Obs.: As informações técnicas foram retiradas dos sites dos fabricantes e os preços foram obtidos através do site Mercado Livre.

Também deve-se comparar alguns parâmetros do sistema com as alternativas comerciais, a exemplo de vazão e diâmetro nominal, como descrito na Tabela 5. Tais

parâmetros são decisivos para a definição do alcance de aplicação do sistema medidor e das funções que ele poderá desempenhar, sendo úteis para o planejamento das medições por parte dos gestores do recurso.

A partir dos parâmetros, é possível escolher qual sistema será mais adequado para se utilizar no contexto existente.

Quanto ao diâmetro nominal, optou-se por escolher, para comparação, opções que também sejam de 50 mm (2"). Em caso de necessidade de aplicação em redes de maior diâmetro, há sensores similares ao utilizado neste trabalho que possuem maior bitola e podem ser empregados, sendo também mais baratos em relação às alternativas comerciais.

Tabela 5 – Outros parâmetros relevantes

Dispositivo	DN ("mm)	Q_{mín} (m³/h)	Q_{máx} (m³/h)	FONTE
Sensor YF-DN50	2/50	0,6	12	Whiteint
Woltmann WS Vertical	2/50	0,45	30	Hidrometer
Hidrômetro Multijato MJ-H	2/50	0,3	30	Hidrometer
Hidrômetro Ultrassônico Hydrus	2/50	0,65	31,25	Diehl
Medidor de Vazão Eletromagnético	2/50	0	55	ECR
Medidor de Vazão Ultrassônico TUF-2000M	**	0,6	60	Instruvale (ML)
Medidor eletromagnético Optiflux KC4000F/6	2/50	0,1	50	Conaut

Fonte: Autor (2023).

Quanto à capacidade de medição, destaca-se que o sistema aqui desenvolvido é mais limitado em relação às vazões mínima e máxima, sendo, dentre os dispositivos analisados, o que possui a menor vazão máxima de leitura e a segunda maior vazão mínima. Este último fator pode ser limitante à sua utilização, visto que vazões menores não são facilmente detectadas pelo sensor YF-DN50, como se descreverá posteriormente.

Porém, a utilização não é impedida, pois o sensor pode ser aplicado em contextos nos quais sabe-se previamente que há valores menores de vazão, e as condições do contexto seriam inclusas na análise. Uma alternativa que pode ser útil para melhor lidar com essa limitação é a instalação em conjunto com a micromedição, para ampliar a gama de valores obtidos e tornar a medição mais eficiente.

4.2. Calibração e validação

Seguindo para o procedimento de calibração do sensor, os resultados obtidos foram valores médios de vazão volumétrica, calculados na saída da tubulação, associados a valores de frequência média informados pelo sistema no monitor serial. Todos os valores estão apresentados na Tabela 6 e foram utilizados na aproximação linear.

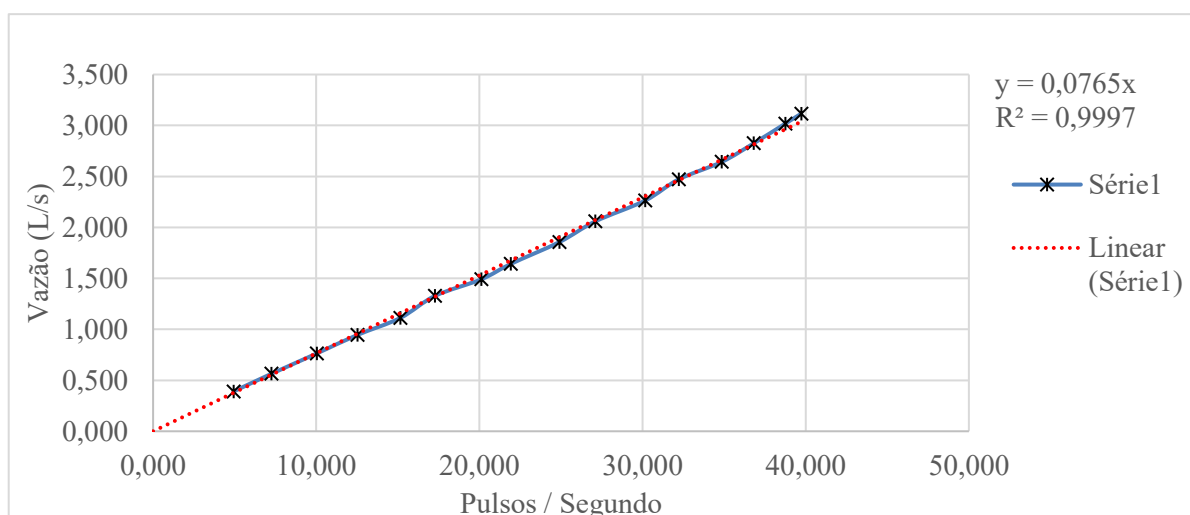
Tabela 6 – Valores de vazão volumétrica associados aos pulsos medidos

f (Hz)	Q (L/s)	f (Hz)	Q (L/s)
39,719	3,116	21,913	1,641
38,745	3,018	20,111	1,491
36,808	2,825	17,278	1,328
34,846	2,642	15,149	1,111
32,211	2,471	12,524	0,945
30,163	2,264	10,041	0,764
27,101	2,059	7,243	0,563
24,901	1,856	4,924	0,390

Fonte: Autor (2023).

Na Figura 22, o valor do coeficiente obtido foi 0,0765 (menor que o original 0,0833), sendo a aproximação linear construída com alta precisão, visto que o coeficiente estatístico R-quadrado (R^2) foi 0,9997. Como o valor está muito próximo de 1, pode-se dizer que o comportamento da vazão tem relação muito previsível com os pulsos e que a relação entre ambos é praticamente linear. Assim sendo, a nova equação descritiva obtida para o sensor após a calibração (Equação 4) é confiável.

Figura 22 – Pulsos × Vazão, considerando a Equação 4



Fonte: Autor (2023).

$$Q = 0,0765f \quad (4)$$

Para validação, realizou-se comparação entre os valores da equação fornecida pelo fabricante do sensor (Equação 2) e equação da calibração (Equação 4). Foram obtidos os erros percentuais, em relação à vazão volumétrica medida. Para tal, aplicaram-se os valores de frequência observados na calibração em ambas as equações, e compararam-se com os valores medidos na caixa volumétrica. Os valores estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Cálculo do erro percentual observado em ambas as equações

EQUAÇÃO ORIGINAL (Equação 2)				EQUAÇÃO CALIBRADA (Equação 4)			
f (Hz)	Q _c (L/s)*	Q _v (L/s)**	Erro %	f (Hz)	Q _c (L/s)*	Q _v (L/s)**	Erro %
39,719	3,310	3,116	6,2%	39,719	3,039	3,116	2%
38,745	3,229	3,018	7,0%	38,745	2,964	3,018	2%
36,808	3,067	2,825	8,6%	36,808	2,816	2,825	0%
34,846	2,904	2,642	9,9%	34,846	2,666	2,642	1%
32,211	2,684	2,471	8,6%	32,211	2,464	2,471	0%
30,163	2,514	2,264	11,0%	30,163	2,307	2,264	2%
27,101	2,258	2,059	9,7%	27,101	2,073	2,059	1%
24,901	2,075	1,856	11,8%	24,901	1,905	1,856	3%
21,913	1,826	1,641	11,3%	21,913	1,676	1,641	2%
20,111	1,676	1,491	12,4%	20,111	1,538	1,491	3%
17,278	1,440	1,328	8,4%	17,278	1,322	1,328	0%
15,149	1,262	1,111	13,6%	15,149	1,159	1,111	4%
12,524	1,044	0,945	10,4%	12,524	0,958	0,945	1%
10,041	0,837	0,764	9,5%	10,041	0,768	0,764	1%
7,243	0,604	0,563	7,2%	7,243	0,554	0,563	2%
4,924	0,410	0,390	5,2%	4,924	0,377	0,390	3%
Q = 0,0833f			Erro médio → 9%	Q = 0,0765f			Erro médio → 2%
Desvio padrão: 2%				Desvio padrão: 1%			

Fonte: Autor (2023).

*Vazão calculada com a equação; **Vazão volumétrica

Observou-se, para a equação fornecida pelo fabricante do sensor (Equação 2), um erro médio de 9%, havendo oscilações pontuais de até 13,6%. Já para a equação obtida através da calibração (Equação 4), observou-se um erro médio de 2%, com oscilação pontual máxima de até 4%. Verificou-se também que os valores obtidos foram homogêneos, pois o desvio padrão de ambas as equações foi baixo, sendo de 2% para a do fabricante e 1% para a da calibração.

Com esses resultados, tem-se que a equação do sensor fornecida pelo fabricante não produz resultados dentro da faixa de erro de $\pm 3\%$ apresentada no *datasheet*, sendo o erro observado maior, apresentando valor médio de 9%. Com relação à equação produzida pela calibração, seus resultados foram satisfatórios, visto que produziu erro médio de apenas 2% em relação às leituras da vazão volumétrica. Logo, justifica-se a necessidade da realização desta calibração do sensor para que a medição dele seja mais precisa.

O erro observado na equação obtida com a calibração representa, em média, 20 mL não contabilizados para cada litro de água que passa pelo sensor. A título de exemplo, em um período de 8 horas de consumo ininterrupto em uma rede de abastecimento e vazão constante de valor igual à máxima proporcionada pela bomba hidráulica utilizada neste estudo (aproximadamente 3 L/s), o consumo não contabilizado seria de 1.728 L. Sendo utilizada a equação original, o volume não contabilizado seria de 7.776 L. Para os fins a que se destinará, a aplicação do sensor sem a devida calibração promoveria uma perda significativa. Sendo assim, a eficiência do sistema está condicionada à calibração, reduzindo os valores não medidos.

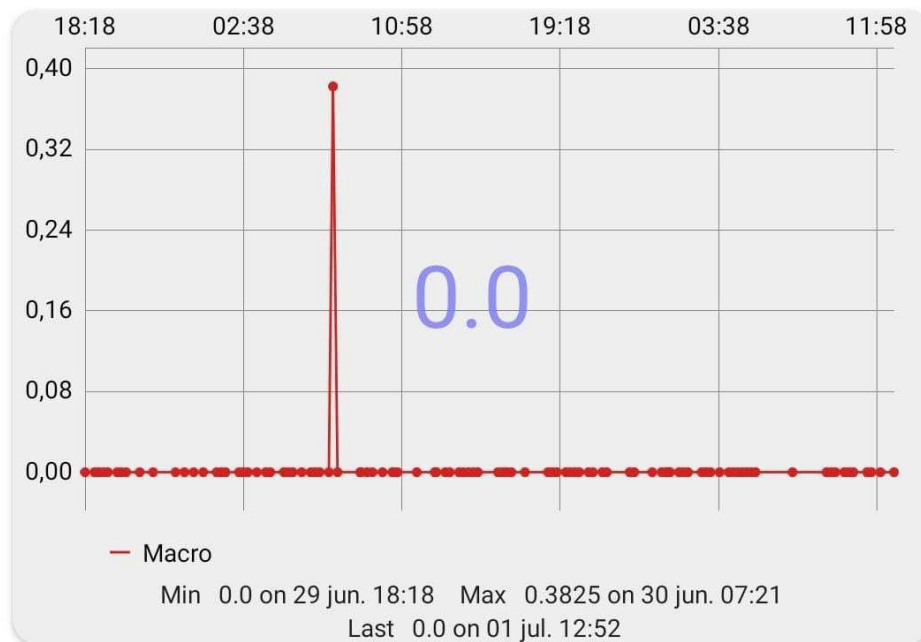
Um erro percentual menor significa valores medidos mais precisos e confiáveis, o que também interfere positivamente na tomada de decisão, com valores muito próximos da realidade, tornando-as mais eficientes. O desvio padrão baixo observado em ambos os modelos (original do fabricante e calibrado) pode indicar que o sensor é eficiente para faixas de vazão menores ou maiores. Tal característica é um ponto positivo do sensor, que poderá realizar leituras eficientes mesmo com a variabilidade diária das vazões observadas em uma rede de abastecimento real.

Como a menor vazão lida (0,39 L/s) corresponde a 23,4 L/min, não foi possível chegar à vazão mínima de leitura do sensor (10 L/min). Entretanto, como o R^2 atingiu valor muito próximo de 1, demonstrando uma relação bem estabelecida e confiável entre as grandezas medidas dentro do intervalo apresentado.

4.3. Acompanhamento das medições

Após a instalação, seguiu-se para o acompanhamento e a análise dos dados apresentados no aplicativo *ThingView*, conforme Figura 23.

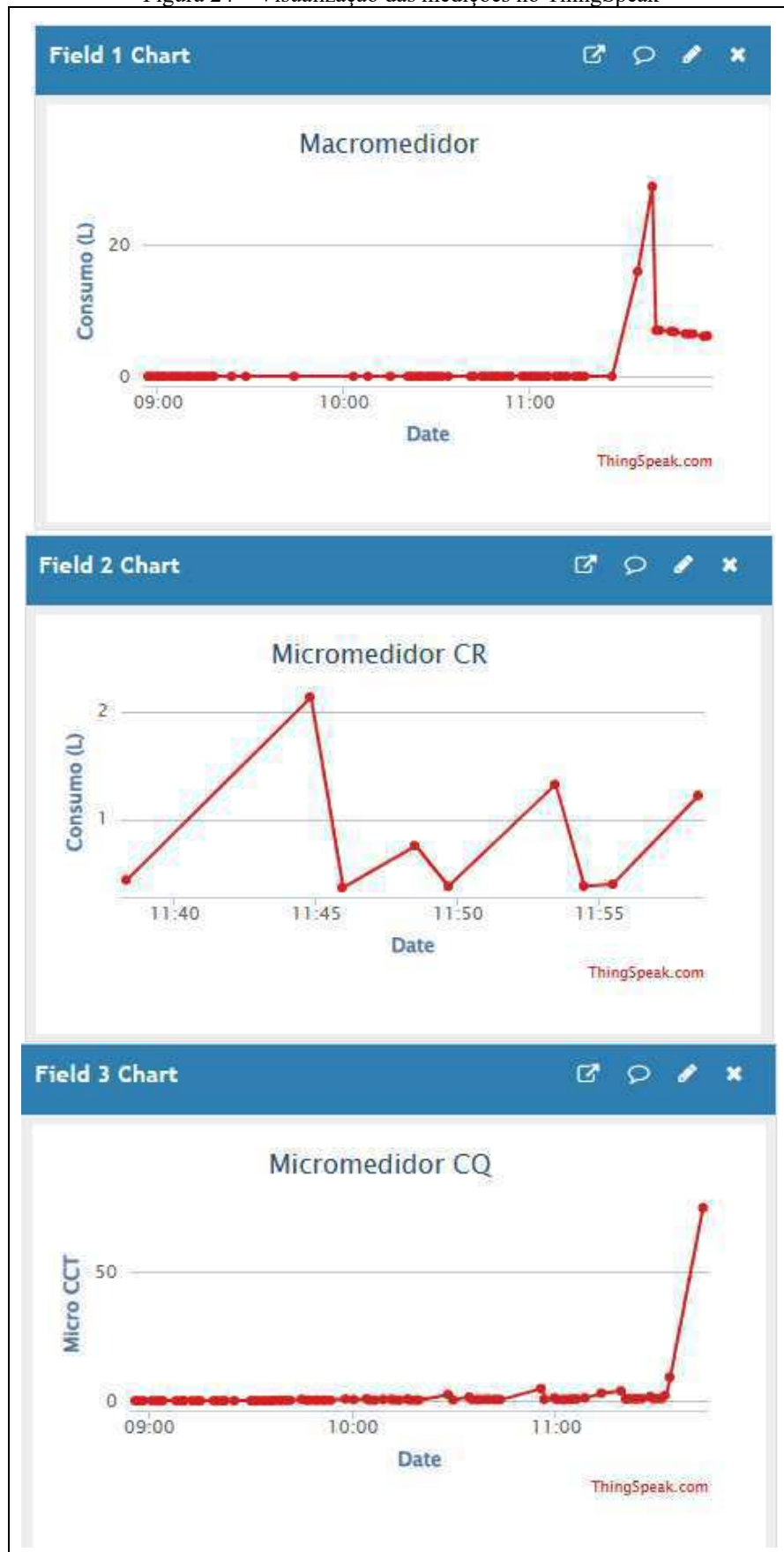
Figura 23 – Monitoramento do macromedidor no ThingView



Fonte: Autor (2023).

Cada ponto vermelho representa uma leitura, e o número indicado no centro da imagem corresponde ao último dado enviado à plataforma. Também é possível ver os valores mínimo e máximo medidos dentro do intervalo de dados apresentados na visualização. A visualização no site do *ThingSpeak* é semelhante, como se observa na Figura 24.

Figura 24 – Visualização das medições no ThingSpeak



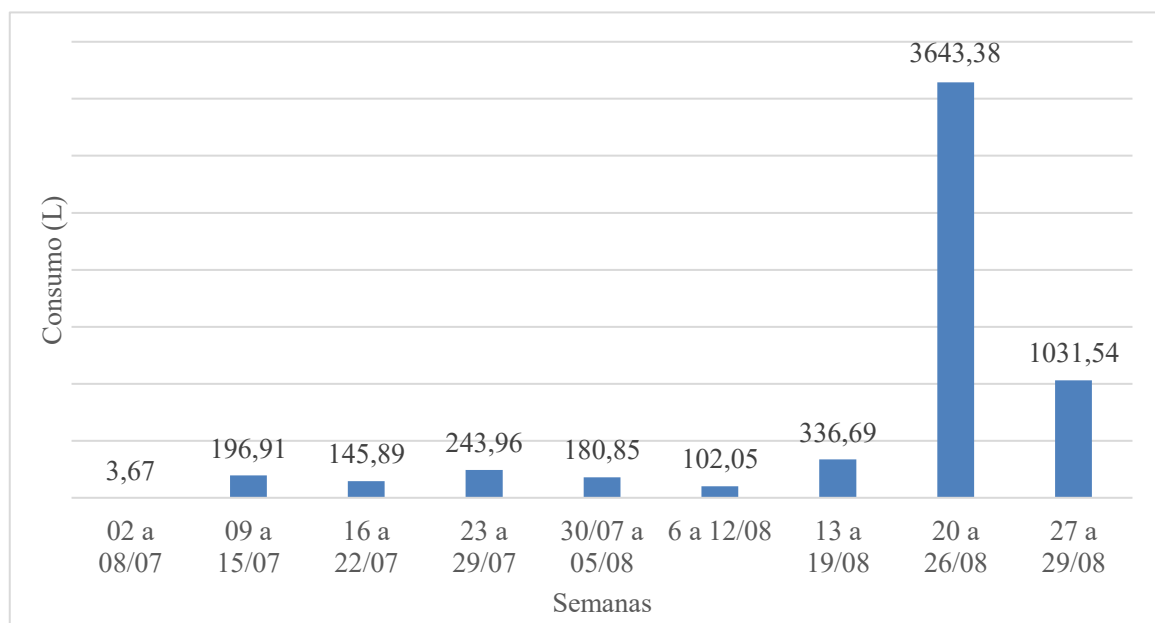
Fonte: Autor (2023).

4.4. Dados de consumo na rede

4.4.1. Análise do consumo registrado pelo macromedidor

A seguir serão apresentados os valores de consumo medidos registrados pelo macromedidor ao longo do período de medições. A Figura 25 mostra os valores agrupados em semanas, do começo de julho ao final de agosto.

Figura 25 – Valores de consumo agrupados por semanas do macromedidor

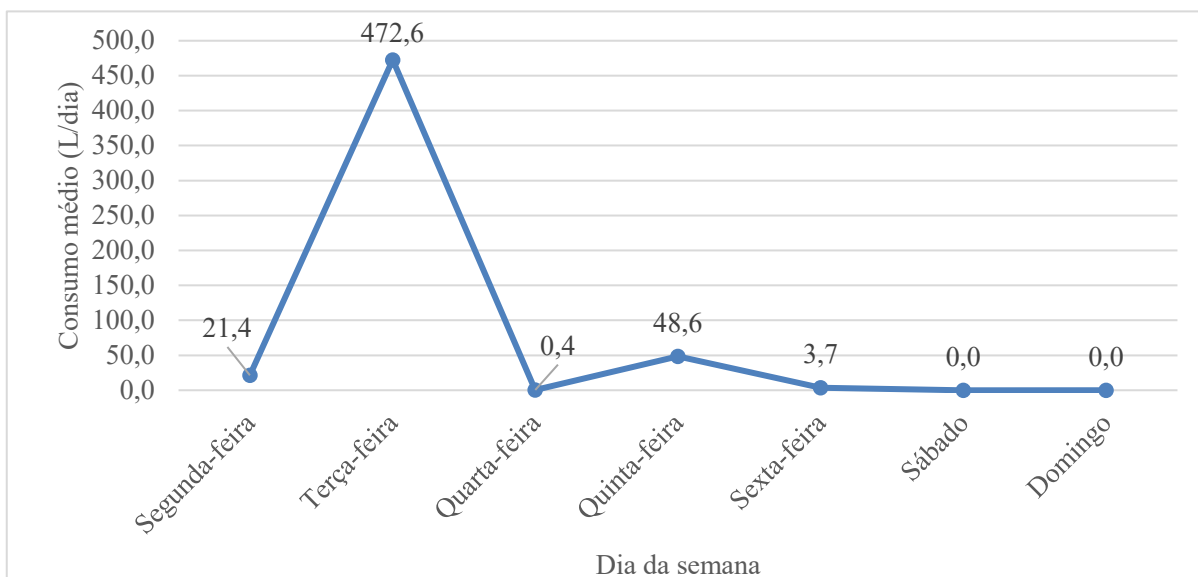


Fonte: Autor (2023).

Observa-se que o período de maior consumo se deu entre os dias 20 e 26 de agosto. O consumo máximo foi registrado no dia 22 de agosto, o qual será detalhado posteriormente. O período de menor consumo se deu entre os dias 2 e 8 de agosto.

Na Figura 26, estão registrados os valores de consumo médio para cada dia da semana. Como é possível observar, a terça-feira é o dia com maior consumo médio: 472,6 L. Em consequência, dentre os dias úteis a quarta-feira apresenta o menor consumo médio (0,4 L), visto que os reservatórios recebem maior carga no dia anterior.

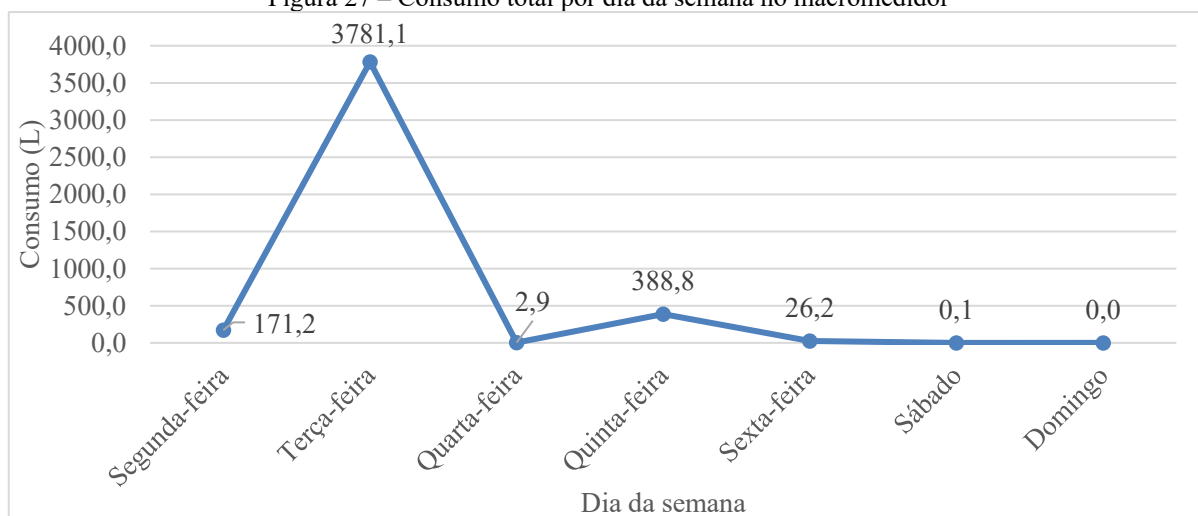
Figura 26 – Consumo médio por dia da semana no macromedidor



Fonte: Autor (2023).

Nos dias de sábado e domingo, como já era esperado, o consumo é zero, em virtude da ausência de atividades no campus. Já em termos de consumo total (Figura 27), observa-se novamente que o dia de maior consumo total é a terça-feira, 22/08, sendo registrado o valor de 3.781,1 L. Se não fosse considerado o valor máximo do dia 22/08, ainda assim a terça-feira seria o dia de maior consumo médio, com média de 86,8 L/dia e consumo total de 694,8 L. A quarta-feira, novamente, é o dia útil com menor consumo total, registrando apenas 2,9 L.

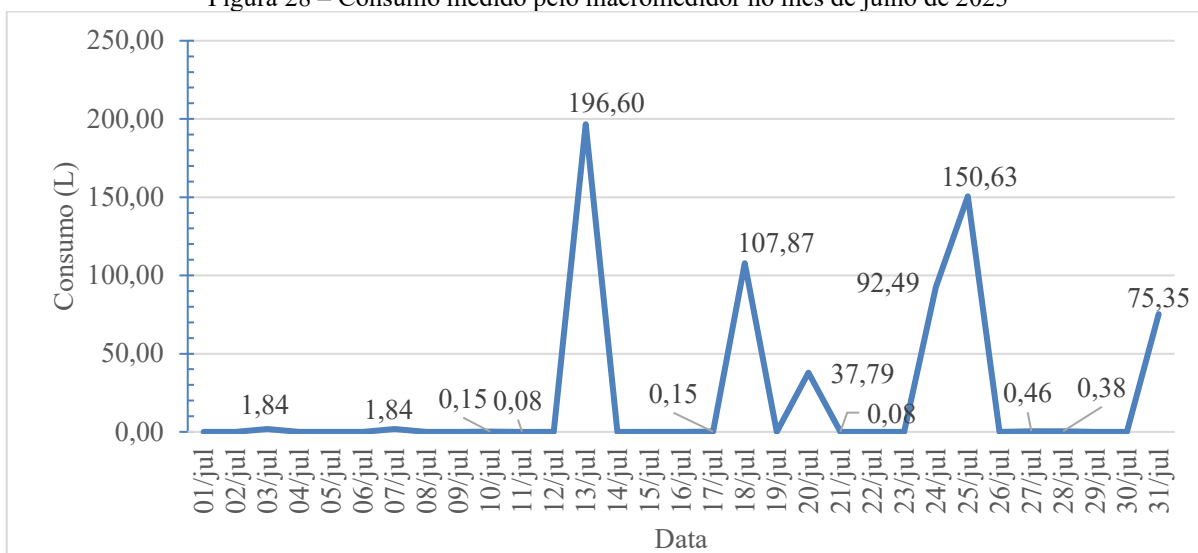
Figura 27 – Consumo total por dia da semana no macromedidor



Fonte: Autor (2023).

Partindo para as análises mensais, na Figura 28 estão apresentados os dados referentes ao consumo no mês de julho.

Figura 28 – Consumo medido pelo macromedidor no mês de julho de 2023



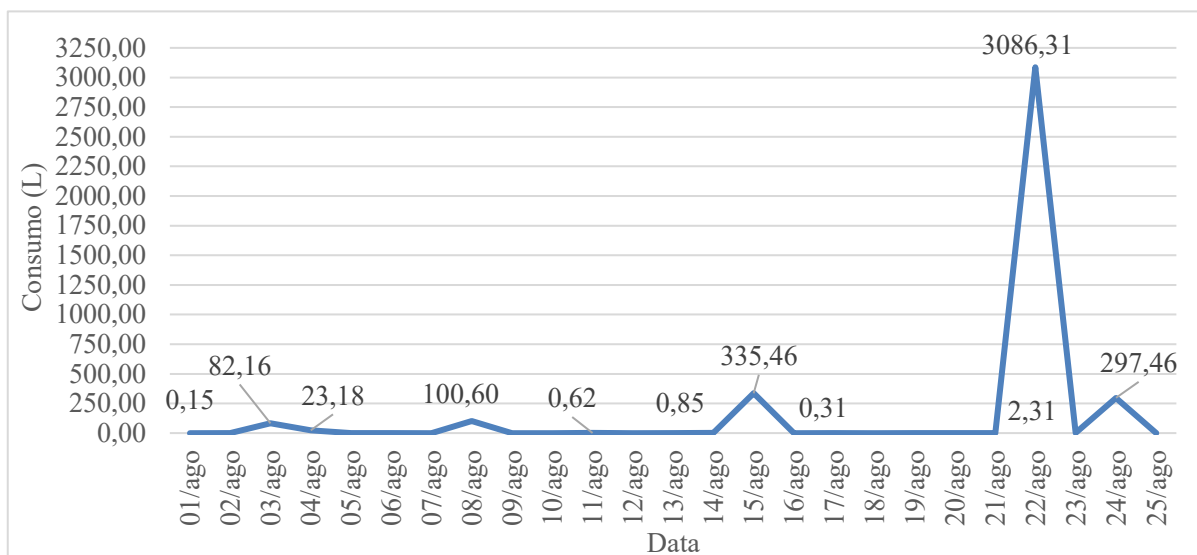
Fonte: Autor (2023).

É possível observar que o consumo mínimo ocorrido foi de 0,08 litros nos dias 12/07 e 21/07 (correspondente a valores menores que o mínimo de leitura) e o consumo máximo ocorreu no dia 13/07, com o valor de 196,6 litros. Os valores de consumo medidos no período compreendido entre 01/07 e 11/07 indicam baixa atividade nos blocos atendidos pelo sub-ramal estudado devido ao final do período acadêmico, não havendo consumo suficiente para que os seus respectivos reservatórios fossem reabastecidos. A partir dos dados, verificam-se ainda valores iguais a 0,08 e 0,15 L. Por tais valores, nota-se que nesses períodos houve um consumo menor do que o sensor consegue captar.

Tais valores podem ser explicados através do intervalo de funcionamento do sensor, 10-200 L/min, que pode ser transformado para 0,167-3,333 L/s. Para que, após 1 minuto, o valor medido seja de 0,08 L, é necessária uma vazão média de 0,0013 L/s, o que corresponde a uma vazão menor do que a mínima que pode ser captada pelo sensor, sendo o valor relacionado diretamente com o fator de calibração utilizado (1/0,0765). Portanto, qualquer valor de consumo menor que 0,167 L, corresponde a uma vazão mais baixa do que a mínima passível de leitura pelo sensor.

Na Figura 29, pode-se observar o registro do consumo ao longo do mês de agosto, até o dia 25.

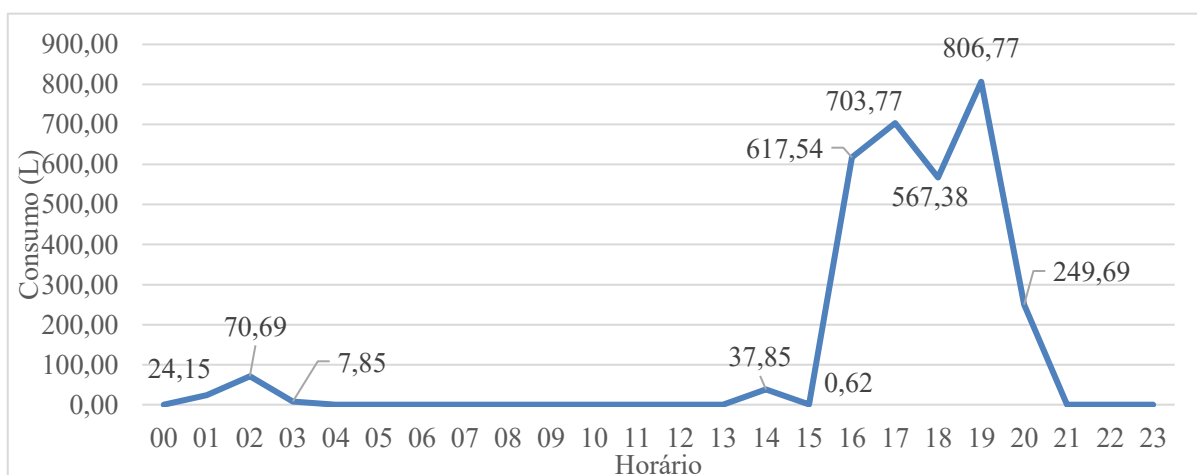
Figura 29 – Consumo registrado pelo macromedidor no mês de agosto de 2023



Fonte: Autor (2023).

Compreende-se ter havido consumo maior ao longo do mês de agosto se comparado ao mês anterior. Não sendo contabilizado o valor do dia 22/08, foram consumidos 843,1 litros. Em julho, o valor do consumo total foi de 665,71 litros. Ao todo, no período de medições de agosto foram consumidos 3.929,41 L. O valor registrado em 22/08 está provavelmente relacionado com o reabastecimento de um ou dos dois reservatórios, isto dito também em razão da quantidade de horas nas quais o consumo aconteceu. Foram valores altos observados durante 6 horas, representando o maior consumo medido em todo o período de leituras (Figura 30).

Figura 30 – Detalhamento do consumo medido pelo macromedidor no dia 22/08/2023



Fonte: Autor (2023).

4.4.2. *Relação entre macromedição e micromedição*

Como apresentado na Tabela 8, observou-se, no período em que houve as três medições, o micromedidor do bloco CQ foi o mais ativo, com 1174 envios de valores maiores que zero. Em contrapartida, a média dos valores enviados foi a menor, correspondente a 0,72 L. em razão das baixas vazões mínimas registradas pelos sensores.

Tabela 8 – Quantidade de envios maiores que zero e médias dos valores de 11/08 a 25/08

	Macro	Micro CR	Micro CQ
Nº de envios > 0	375	901	1174
Valor médio (L)	9,93	1,80	0,72

Fonte: Autor (2023).

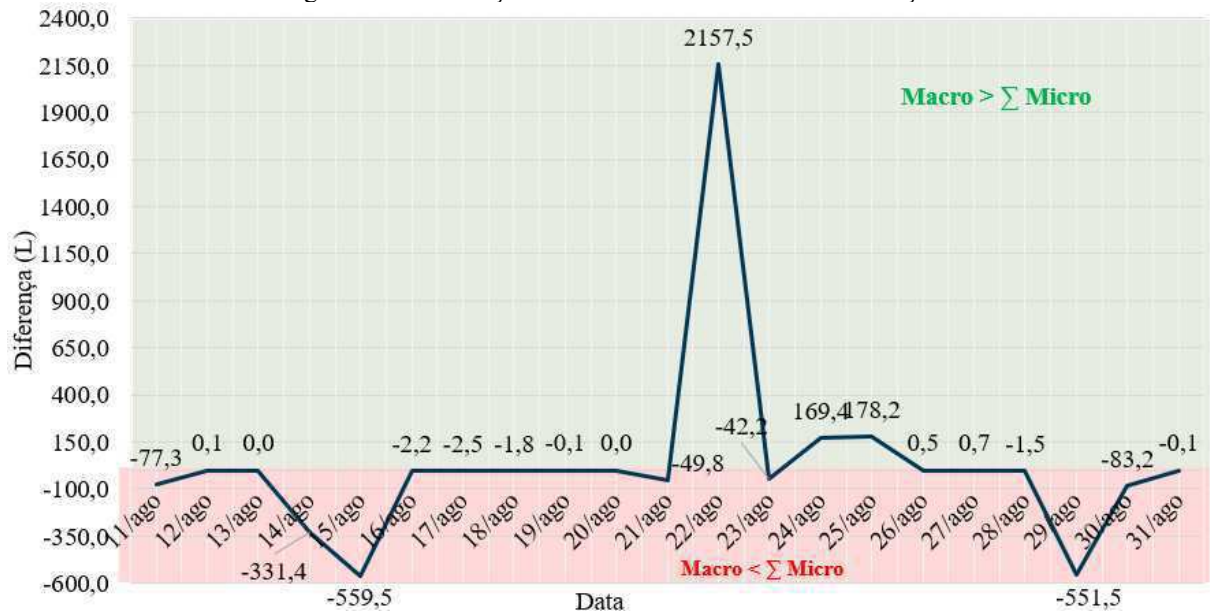
O macromedidor possui intervalo de vazão mínima de 10 L/min, enquanto os micromedidores possuem vazão mínima de 1 L/min. Por isso, valores menores de consumo são detectados pelo micromedidores e não pelo macromedidor, o que gera maior quantidade de registros.

Além disso, em virtude de haver no bloco CQ mais setores administrativos, há mais ocasiões de consumo, porém em valores menores se comparados aos fornecidos pelo medidor do bloco CR, que é um bloco com salas de aulas e pesquisa, onde a circulação de alunos é maior e as pesquisas demandam mais água gerando valores de consumo maiores.

Verificou-se que os valores fornecidos pela macro e micromedição não são iguais. Como está apresentado na Figura 31, houve diferenças nos valores do consumo medido pelo sensor macro em relação ao somatório dos valores dos micros. Os valores positivos indicam que a macromedição retornou consumo maior que o medido pelos micromedidores, já os valores negativos indicam o inverso. É possível observar também as diferenças nos valores registrados nos dias 14 e 15 de agosto.

Após análise dos valores de consumo enviados a cada minuto pelos três medidores, verificou-se que a causa da diferença são os valores de consumo baixo, registrados a cada minuto pelos micromedidores, que estão compreendidos no intervalo de medição destes (1-30 L/min) mas não do sensor utilizado na macromedição, que só detecta valores mínimos de 10 L/min.

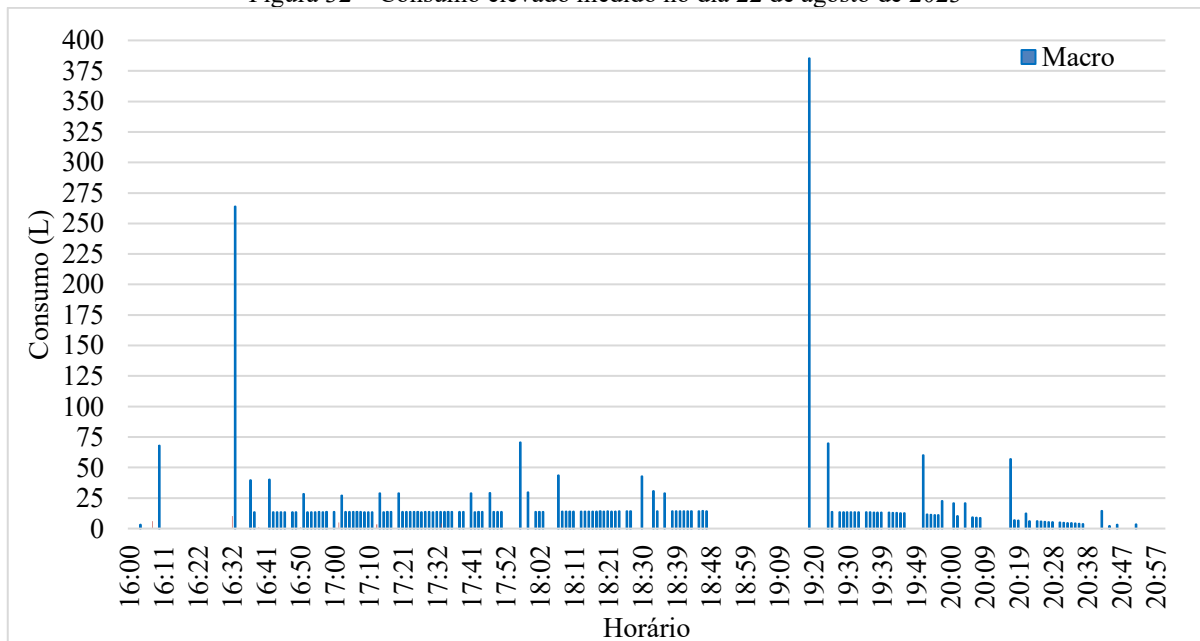
Figura 31 – Diferença entre valores de macro e micromedição



Fonte: Autor (2023).

Destaca-se a alta diferença nas medições realizadas no dia 22/08. A Figura 32 apresenta os dados de consumo medidos pelos três medidores. Nesse dia, houve um consumo elevado que só foi registrado pelo macromedidor, atingindo valor médio de 11,9 L/min.

Figura 32 – Consumo elevado medido no dia 22 de agosto de 2023

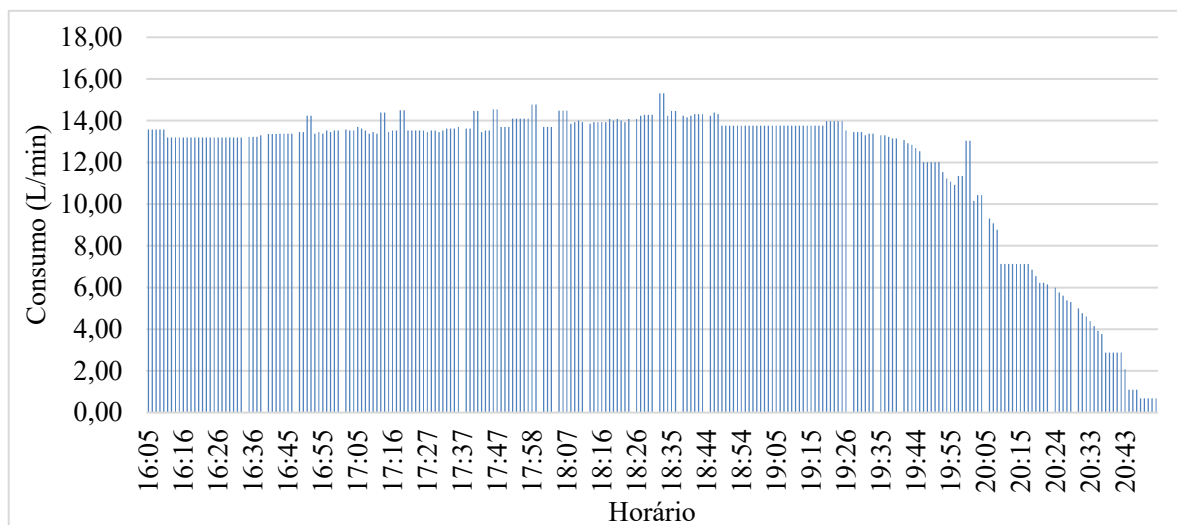


Fonte: Autor (2023).

No período desta análise, nenhum dado de consumo foi registrado pelos dos micromedidores (observa-se que não há valores correspondentes no gráfico). Então foi necessário empreender uma investigação mais apurada. Como observa-se na Figura 33, o

consumo ocorreu entre 16h e 21h, mantendo-se dentro de um valor médio com leve aumento entre 17h45 e 19h28, quando iniciou o declínio constante até o seu final.

Figura 33 – Detalhamento do consumo elevado registrado no dia 22/08



Fonte: Autor (2023).

Ainda considerando a ausência de valores dos micromedidores, seria possível acreditar que a água saiu de alguma derivação desconhecida ou não medida por outros meios. Uma investigação *in loco* das condições da tubulação foi realizada para encontrar uma resposta para esses valores. Não houve detecção de nenhum vazamento ou ligação não conhecida ao sub-ramal. A única saída de água da tubulação sobre a qual não há controle além do macro é uma torneira externa, apresentada na Figura 34.

Figura 34 – Torneira externa conectada diretamente ao sub-ramal

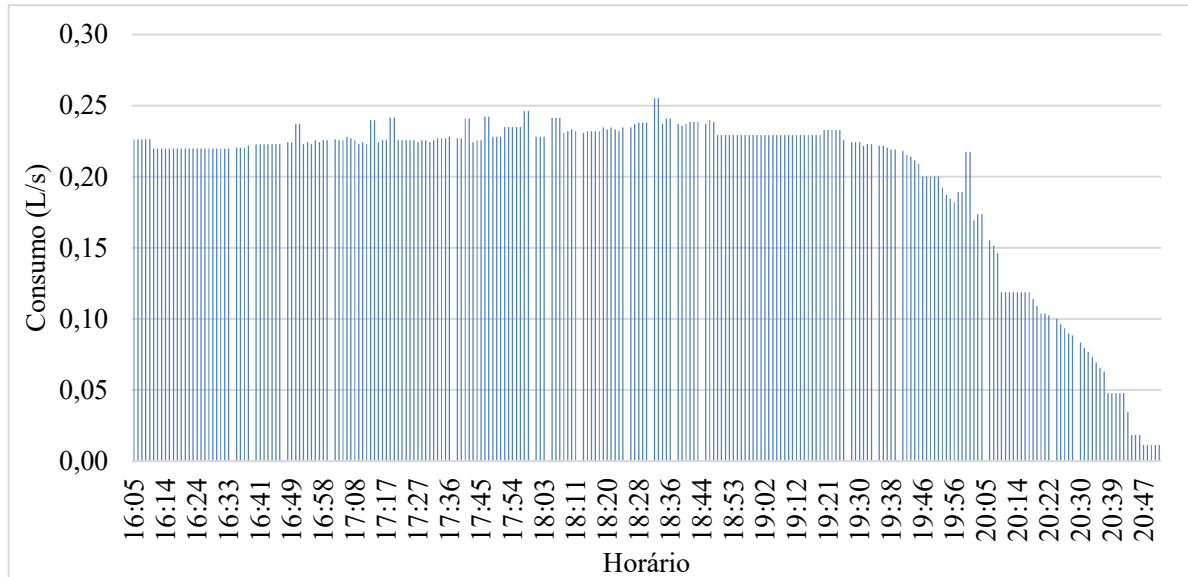


Fonte: Autor 2023.

Para uma análise mais minuciosa do consumo, converteram-se os valores de consumo em valores de vazão média em litros por segundo, apresentados na Figura 35. Como é possível observar, do começo do consumo ao início do declínio, as vazões se concentram no intervalo

entre 0,20 e 0,25 L/s. Sabe-se que uma torneira de uso geral/tanque, com pressão de até 6 mca, libera uma vazão de 0,26 L/s (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 1996). É possível afirmar, portanto, que o consumo se deu através da torneira previamente apresentada.

Figura 35 – Vazões médias do consumo elevado do dia 22 de agosto de 2023



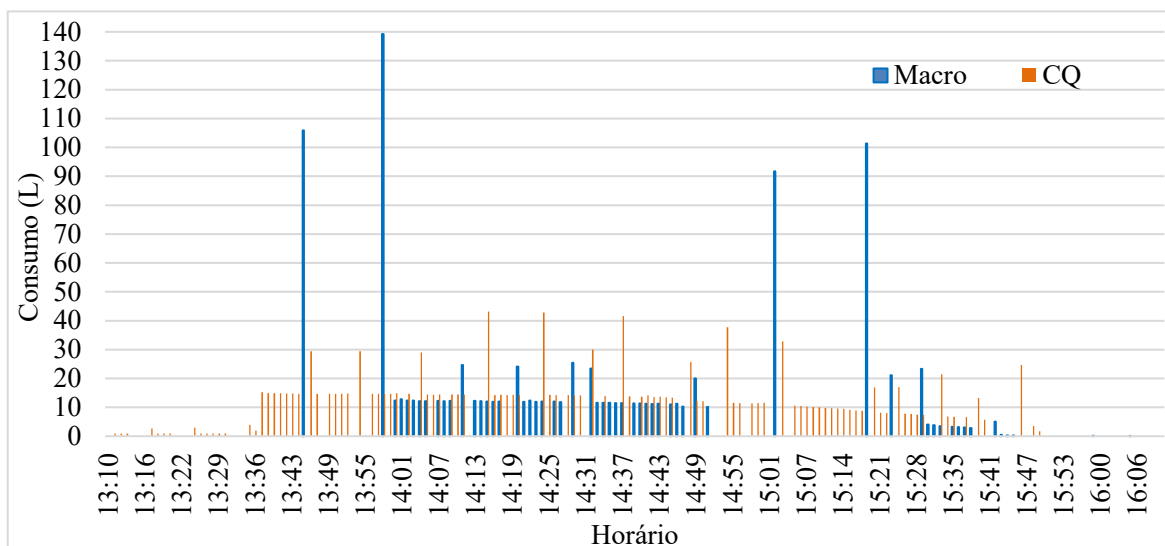
Fonte: Autor (2023).

Entretanto, não foi possível descobrir sob quais condições se deu tal consumo, pois o mesmo aconteceu ao final e depois do expediente de funcionamento dos blocos.

Vale apresentar um exemplo de medição conjunta realizada pelo macro e pelo medidor do bloco CQ, ambos captando simultaneamente o reabastecimento do reservatório da edificação. O consumo relatado, que aconteceu no dia 29/08 (terça-feira), indicado na Figura 36, mostra que o consumo começou às 13h e se estendeu até pouco depois das 16h, e a medição foi caracterizada por valores constantes captados por ambos os medidores. Os picos de valores apresentados no gráfico correspondem a dados que foram acumulados por não haver envio bem-sucedido para o *ThingSpeak*. O acúmulo se deu tanto para o macromedidor como para o micromedidor.

Ao todo, os medidores dos blocos CQ e CR mediram, respectivamente, 1.337,35 L e 218,22 L, enquanto o macromedidor mediu 1.029,77 L. Houve, portanto, uma diferença de 33,8%.

Figura 36 – Consumo medido entre 13h10 e 16h06 do dia 29/08



Fonte: Autor (2023).

É possível notar que a geometria apresentada pela série de dados do bloco CQ corresponde ao abastecimento de um reservatório dotado de boia de nível: à medida que a água entra e o nível no reservatório sobe, a boia também se eleva, diminuindo gradativamente a entrada de água até zerá-la por completo.

Quanto ao acúmulo após tentativa mal sucedida de envio, é possível observar tal fenômeno nos dados da Tabela 9. A soma dos valores fornecidos entre 13h37 e 13h43 pelo micromedidor do bloco CQ (104,33 L) é próxima do valor medido pelo macro às 13h45 (105,85 L), com 7 minutos de diferença em relação ao início do consumo. Isso pode se dar devido a falhas na conexão com o ThingSpeak, pelo que o macromedidor acumula o consumo medido na variável até que consiga enviá-lo. Em resumo, havendo consumo, quanto maior o tempo sem envio de dados, maior será o valor enviado quando a conexão for estabelecida.

Tabela 9 – Detalhe do dia 29/08 com dados do macro e dos micromedidores

Horário	Macro	CR	CQ
13:37			15,28
13:38		0,82	14,90
13:39		0,83	14,95
13:40		0,74	14,93
13:41		0,67	14,79
13:43			14,75
13:44			14,73
13:45	105,85	2,46	

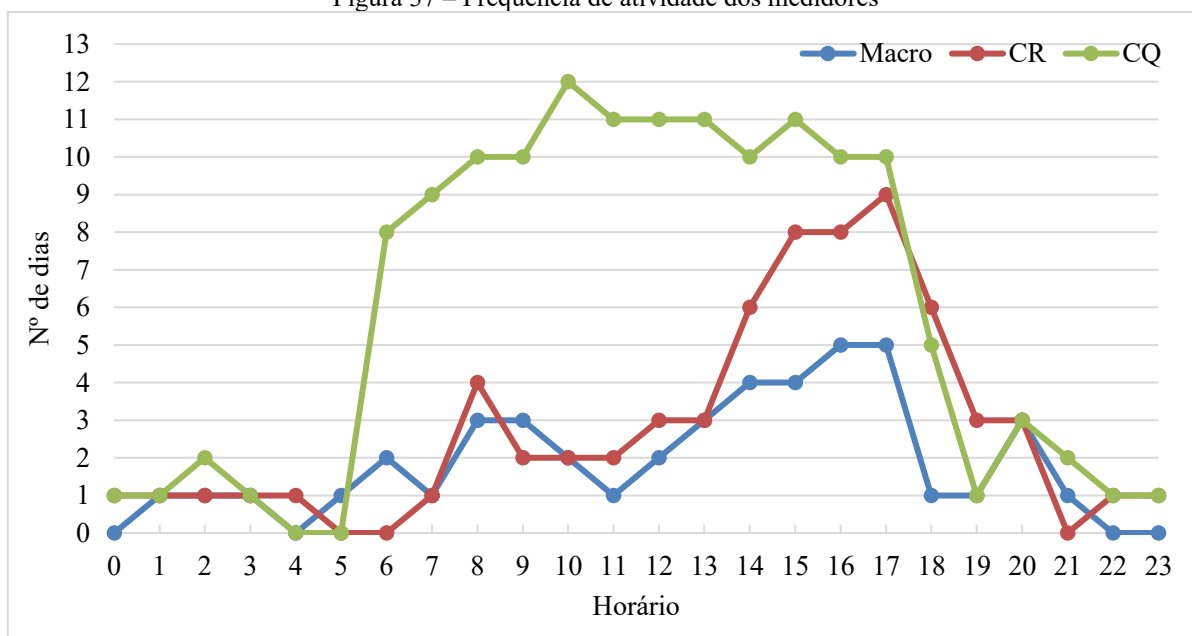
Fonte: Autor (2023).

Obs.: Células vazias indicam ausência de envio de dados naquele minuto.

Se considerado o fator do acompanhamento em tempo real, é fato que este teve sua eficiência reduzida em virtude dos problemas de conexão com a internet, visto que não foi possível, em grande parte do tempo, obter os valores exatamente no momento em que houve o consumo na rede. Porém, observa-se também que o atraso para envio dos dados não foi muito longo, sendo apenas de alguns minutos. Com isso, compreende-se que o atraso no envio não prejudica o armazenamento dos valores totais nem a criação do padrão de consumo.

Em continuidade às análises das medições, procedeu-se ao estudo da frequência de atividade dos três medidores, para observar em qual período do dia é mais comum que haja envio de dados de consumo. Verificou-se que os medidores possuem maior frequência de atividade entre 6h e 18h, o que se explica em virtude do horário de funcionamento de ambos os blocos, que se dá entre 7h e 18h. A Figura 37 relaciona a quantidade de dias nos quais os medidores enviaram dados para cada horário.

Figura 37 – Frequência de atividade dos medidores



Fonte: Autor (2023).

Não foi possível encontrar justificativas para os registros de consumo nos períodos em que não há atividade nos blocos (0h a 5h, 20h a 23h), porém os envios não aconteceram em uma quantidade significativa de dias.

Verifica-se ainda que o micromedidor do bloco CQ apresenta maior frequência de atividade, possuindo a maior quantidade de dados enviados entre os 3 medidores. Os valores médios desses dados são menores do que os informados pelos outros dois medidores.

4.5. Anomalias detectadas

Através do acompanhamento das medições detectou-se valores anômalos que indicaram mau funcionamento do sistema. Os valores, apresentados na Tabela 10, foram caracterizados pela repetição periódica de 0,0765 L – três vezes, a cada 30 minutos, e mais uma vez após 1h30min. Decidiu-se então analisar com mais atenção tais valores a partir do padrão anteriormente observado para os dados do macromedidor.

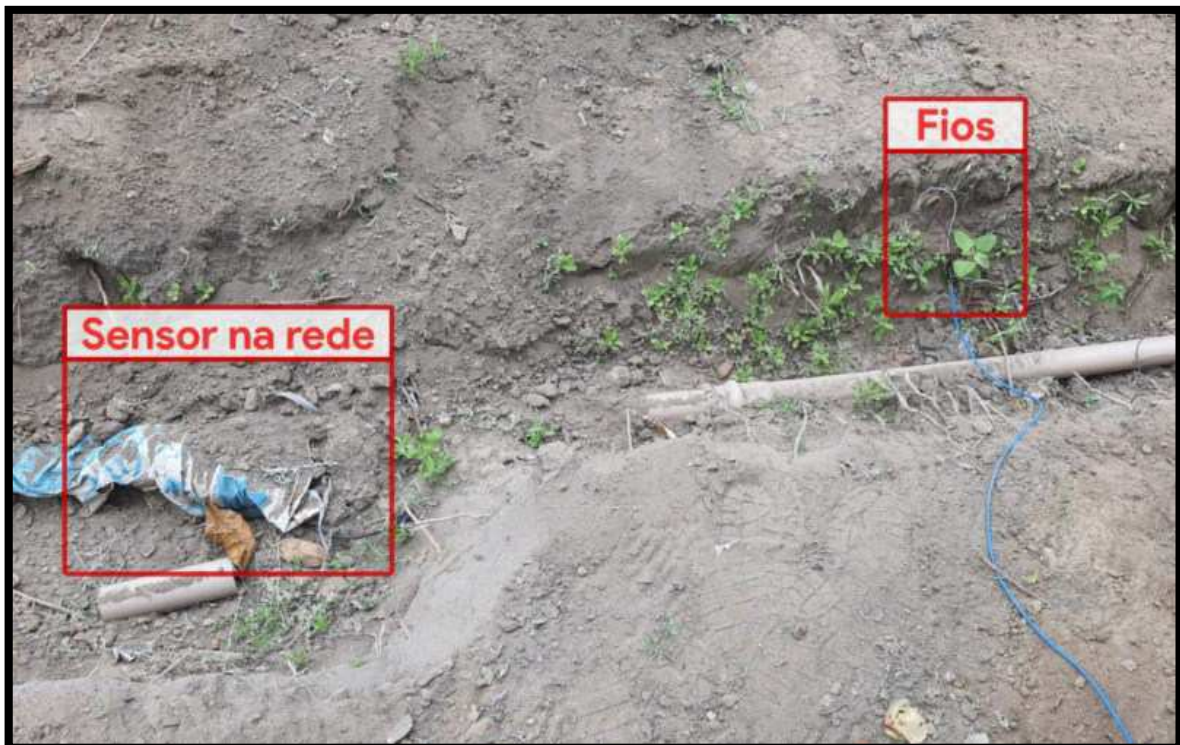
Tabela 10 – Valores anômalos detectados

Data e Hora	Volume
09/08/2023 13:33	0,0765 L
09/08/2023 14:04	0,0765 L
09/08/2023 14:35	0,0765 L
09/08/2023 16:02	0,0765 L

Fonte: Autor (2023).

Após a análise, realizou-se uma vistoria *in loco* do sistema para detectar a causa dos mesmos, o que mostrou haver realmente um problema. Como verificado na Figura 38, os fios de conexão do sensor com a placa NodeMCU estavam separados, devido a fatores externos não controlados.

Figura 38 – Anomalia detectada no sistema



Fonte: Autor (2023).

A partir dessa análise, aponta-se que o acompanhamento do padrão de consumo de uma determinada rede pode também ser utilizado para detecção de anomalias no sistema. Dados fora do padrão podem indicar um funcionamento irregular, causado por um problema externo ao sistema. Vê-se também, a partir deste episódio, que melhorias deverão ser empreendidas no sistema para impedir novas interrupções em seu funcionamento.

5. CONCLUSÃO

Como apresentado no começo deste trabalho, a escassez demanda o desenvolvimento de novas tecnologias que permitam um gerenciamento mais eficiente dos recursos hídricos. A macromedição, destinada ao gerenciamento e à diminuição das perdas na rede de abastecimento, é uma ferramenta útil e que pode e vem sendo aprimorada através da automação.

O protótipo desenvolvido neste trabalho se mostra apto para cumprir o papel de monitorar o consumo de água em uma determinada rede ou em um trecho dessa. O mesmo foi construído com código aberto e peças de baixo custo, podendo ser facilmente aplicado.

A calibração apresentou resultados satisfatórios que dão maior credibilidade ao sensor, possibilitando redução de 78% no erro observado nas medições. Também mostrou que o sensor possui funcionamento eficaz para a faixa de vazão a que se propõe (10/200 L/min), tendo sido empregado em intervalo semelhante no laboratório (23,40/189,96 L/min), e que seu funcionamento é eficaz em um contexto de alta variabilidade de valores de vazão.

Foi viabilizado o acompanhamento remoto do consumo na rede, pelo que se permitiu o monitoramento em tempo real através da internet e em dispositivos móveis, como *smartphones* ou *tablets*. Com isso, facilitou-se o acesso aos dados de consumo e diminuiu-se o tempo de resposta aos problemas detectados. A plataforma utilizada para cumprir tal função neste trabalho também se mostrou satisfatória, embora seja interessante pontuar alguns problemas de conexão com o *ThingSpeak* enfrentados que comprometeriam o acompanhamento em tempo real, mas que puderam ser contornados.

Quanto ao comportamento do sistema, verificou-se que ele atuou de modo adequado, registrando os valores dos consumos ocorridos. O sistema possui potencial para ser aplicado em maior escala. Para este trabalho, foram necessárias conexão à internet e energia elétrica para o funcionamento do sistema, mas os dados poderiam ser também obtidos através do armazenamento em um cartão microSD e o protótipo poderia ser alimentado por energia solar. Como fragilidades verificaram-se as conexões utilizadas entre o sensor e a placa microcontroladora, que devido à necessidade de extensão do alcance, ficaram frágeis e podiam ser desfeitas facilmente.

A relação entre os valores fornecidos pelo macromedidor e pelos micromedidores se mostrou eficiente, revelando que o macromedidor consegue apresentar valores semelhantes aos somatórios fornecidos pelos micromedidores. As diferenças que se observaram são relativas à

faixa de medições de vazão, que não é a mesma nos dois tipos de medidor. Havendo valores registrados acima da vazão mínima de leitura do macromedidor, as medições neste e nos micromedidores são semelhantes.

Os custos para o desenvolvimento do sistema foram mais baixos quando comparados às alternativas comerciais utilizadas nas redes de abastecimento. Este fator é determinante para que a aplicação do sensor em larga escala seja viabilizada. Também contribuem para tal a praticidade e facilidade de manuseio e instalação na rede, uma vez que não é necessário deslocar uma equipe especializada até o local de instalação para realizá-la. Isso contribui para redução dos custos de implementação em uma rede maior.

Destaca-se que a macromedição proporcionou a observação de um padrão de consumo ao longo do período de estudo, verificando-se que os dias de maior consumo são a terça-feira e a quinta-feira, e que a quarta-feira é o dia de menor consumo dentre os dias úteis. A análise dos dados também permitiu que valores anômalos fossem detectados e analisados, a fim de descobrir suas causas, e foi possível detectar um mau funcionamento do sistema. Também se verificou, pela relação com a micromedição, diferenças nos valores de consumo no sub-ramal e nos blocos atendidos por ele, bem como as causas atribuídas a esses valores: vazões menores do que a capacidade de leitura do macromedidor e consumos não controlados.

Para trabalhos futuros que derivem desta pesquisa, são feitas algumas recomendações:

- Utilizar conexões mais robustas entre as partes componentes do sistema e uma rede de internet mais estável, além de empregar outras plataformas de armazenamento, como o ScadaBR, a Arduino Cloud ou a Cayenne;
- Utilizar outra forma de coletar os dados, como o armazenamento em um cartão microSD e analisar a autonomia do sistema com outra fonte de alimentação, como energia solar ou bateria;
- Estudar outros parâmetros, como curva de perda de carga e curva de eficiência, e validar os dados do sensor a partir da instalação em outro sistema, com menores valores de pressão;
- Realizar validação para menores valores de vazão, a fim de confirmar se o fator obtido atende bem a vazões abaixo de 23,4 L;
- Instalar o sensor em tubulações com diâmetros maiores para avaliar sua eficiência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, M.; JOKONYA, O. An investigation of smart water meter adoption factors at universities. **Procedia Computer Science**. [S.l.]: [s.n.]. 2021. p. 324-331.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Agência Nacional de Águas. Brasília, 2018. Disponível em: [<http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>]. Acesso em 11/12/2020.

ALBUQUERQUE, T. **Seleção Multicriterial de Alternativas para o Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de Bairro**. 2022. il: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

ALCÂNTARA *et al.* Técnicas de auditoria do consumo de água: relatos de experiência em campo. In: PANTOJA, João da Costa; BUZAR, Márcio Augusto Roma; PORTO, Naiara Guimarães de Oliveira (org.). **Tecnologia, ambiente e sustentabilidade: coletânea de artigos**. Brasília: LaSUS FAU, 2021. Sustentabilidade, Qualidade e Eficiência do ambiente construído. n. 2, p. 142-156.

ASSIS, G. D. **Automação de sistemas de abastecimento de água**. 2012. il: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água: Posicionamento e contribuições técnicas da ABES**. ABES. Rio de Janeiro, 99f. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.218: Projeto de Rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento**. ABNT. Rio de Janeiro, 28p. 2017. (978-85-07-06942-3).

BRANDÃO, I. **Dispositivo IoT de micromedição integrado com Cloud Computing para monitoramento do consumo de água**. 2022. 102 f.; il. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

BRASIL. Decreto Nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Rio de Janeiro: Diário Oficial da União, 1934.

_____. Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1990.

_____. a. Documento Técnico de Apoio nº D2 - Macromedição. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA**. Ministério das Cidades. Brasília, 2003. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/pmss/biblioteca-virtual/documentos-tecnicos-de-apoio-dta>> Acesso em: 25/05/2023

_____. b. Documento Técnico de Apoio nº D3 - Micromedição. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA**. Ministério das Cidades. Brasília, 2003. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/pmss/biblioteca-virtual/documentos-tecnicos-de-apoio-dta>> Acesso em: 25/05/2023

_____. Ministério do Meio Ambiente. Mananciais. **Site do Ministério do Meio Ambiente**, 2019. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/mananciais.html>>. Acesso em: 6 Setembro 2019.

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

_____. **Portaria nº 490, de 22 de março de 2021. Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11445, de 5 de Janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília. 2021.

BOHRER, S. **Estudo para diminuição das perdas no sistema público de distribuição de água com o uso de dispositivos eletrônicos**. 2019. 104 f.; il. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2019.

CÁCERES, P.; RAMOS, S.; SANT'ANA, D. Potencial de redução de exploração de recursos hídricos pelo aproveitamento de água pluvial em residências do Distrito Federal. **Paranoá 23 - Janeiro/Junho - Em busca de autonomia e resiliência hídrica no Brasil**, Brasília, Janeiro-Junho 2019. 11-19.

CAMPOS, N.; STUDART, T. **Gestão de Águas: princípios e práticas**. Fortaleza: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

CHAKRABORTY, S. et al. Smart meters for enhancing protection and monitoring functions in emerging distribution systems. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, n. 127, Maio 2021. ISSN 0142-0615.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. Equipamentos economizadores. **Site da SABESP**, 1996. Disponível em: <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=145>>. Acesso em: Agosto 2023.

CORRÊA, S. Modelo de otimização para a setorização de sistemas de distribuição de água. In: Congreso Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento, Saneamiento y Riego, 17. 2023, Córdoba. **Anais eletrônicos** [...] Córdoba: 2023. Disponível em: <<https://serea23.com/wp-content/uploads/2023/05/6294.pdf>> Acesso em: 05/06/2023.

CUNHA, M.; MARQUES, J.; SAVIĆ, D. A Flexible Approach for the Reinforcement of Water Networks Using Multi-Criteria Decision Analysis. **Water Resources Management**, v. 14, n. 34, p. 4469-4490, 1 Novembro 2020. ISSN 0920-4741. Disponível em: <<https://link.springer.com.ez292.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11269-020-02655-9>>. Acesso em: 2 Junho 2023.

DAMKJAER, S.; TAYLOR, R. The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. **Ambio**, v. 5, n. 46, p. 513-531, 15 Março 2017. ISSN 0044-7447. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-017-0912-z>>. Acesso em: 2 Junho 2023.

DANTAS, J. *et al.* Estudo de viabilidade da automação de leitura de hidrômetros analógicos por fotografia. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 16, n. 8, p. 13508-13529, Agosto 2023. ISSN 1988-7833.

DI NARDO, A. *et al.* Water network sectorization based on a genetic algorithm and minimum dissipated power paths. **Water Science & Technology: Water Supply**, v. 13, n. 4, p. 951-957, 2013.

DINIZ, M. **Avaliação da eficácia de medidores proporcionais de vazão para controle do volume distribuído no sistema de abastecimento de água da cidade de Araguaína – TO.** 2016. il: Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

ELSISI, M. *et al.* Reliable Industry 4.0 Based on Machine Learning and IoT for Analyzing, Monitoring, and Securing Smart Meters. **Sensors**, Basel, v. 2, n. 21, Janeiro 2021.

EPAL. Controlo Ativo de Perdas de Água. **EPAL Technical Editions**. Portugal, 2017. Disponível em: <<https://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/epal/publica%C3%A7%C3%B5es-t%C3%A9cnicas/controlo-ativo-de-perdas-de-%C3%A1gua.pdf?sfvrsn=30>> Acesso em 27/05/2023

FARAH, E.; SHAROOR, I. Smart water technology for leakage detection: feedback of large-scale experimentation. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, v. 2, n. 96, p. 235-242, 1 Agosto 2018.

FELINTO FILHO, G. et al. Sistema eletrônico de informação ao usuário sobre seu consumo de água: a torneira falante. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 16, n. 8, p. 1157-1173, Agosto 2023. ISSN 1988-7833.

FERREIRA, V. **Análise de perdas em sistemas de abastecimento de água - Estudo de caso: Sistema de Abastecimento do FIPAG Xai-Xai.** 2022. Relatório (Estágio) - Licenciatura em Engenharia Civil, Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia Civil, Maputo, 2022.

FÓRUM ECONÔMICO MUNDIAL. **The Global Risks Report.** World Economic Forum. Genebra, p. 65. 2023. (ISBN-13: 978-2-940631-36-0).

GHINIS, C.; FOCHEZATTO, A.; KUHN, C. A política tarifária como instrumento de gestão da demanda por água: estimando a elasticidade preço da demanda nos municípios do Rio Grande do Sul, 2010-2016. **Economia Aplicada**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 249-272, 2020. DOI: 10.11606/1980-5330/ea156233. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/ecoa/article/view/156233>. Acesso em: 29 maio. 2023.

GOMES, H. **Abastecimento de Água.** João Pessoa: LENHS/UFPB. 2019.

GONÇALVES, O.; LUCIANI, D.; MAFRA, M. A utilização de análises preditivas na era da hiperconectividade: o futuro do mercado com a internet das coisas (IoT). **Revista Jurídica Luso-Brasileira**, Lisboa, v. 1, n. 9, p. 1123-1146, 2023. ISSN 2183-539X.

GUSMÃO, P.; PAVÃO, B. Gestão das águas, comitês de bacias hidrográficas e resolução de conflitos ambientais. **Ambientes**, Francisco Beltrão, v. 1, n. 2, p. 38-77, 2019. ISSN 2674-6816.

HELLER, L.; PÁDUA, V. Tubulações e acessórios. In: KURODA, E. K.; PÁDUA, V. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. II, 2010. Cap. 15, p. 693-794.

HOO, R. Managing water demand in Singapore through a systems perspective. **International Journal of Water Resources Development**, v. 6, n. 36, p. 879-887, 1 Novembro 2020. ISSN 0790-0627.

IMAD, H. *et al.* Non-Volumetric Pricing is a Threat to Water Reserves. **Civil Engineering Journal**, v. 2, n. 5, p. 422-428, Fevereiro 2019. ISSN 2476-3055. Disponível em: <<https://www-scopus.ez292.periodicos.capes.gov.br/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092420609&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=12ef611a574e563a05c243d4e3474c63&sot=b&sdt=b&s=TITLE%28Non->

Volumetric+Pricing+is+a+Threat+to+Water+Reserves%29&sl=59&session>. Acesso em: 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL E GO ASSOCIADOS. **Ranking do Saneamento - Instituto Trata Brasil**: resultados com base no SNIS 2011. São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/relatorio-completo-GO.pdf>>

_____. **Perdas de Água**: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio-Perdas-2013.pdf>>

_____. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil 2022 (SNIS 2020)**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Versao-Final-do-Relatorio_Ranking-do-Saneamento-de-2023-2023.03.10.pdf>

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - IWA. **Losses from water supply systems: Standard terminology and Recommended Performance Measures**. Londres: IWA Publishing, 2000.

JACOBI, P. *et al.* ODS 6 – Água potável e saneamento. In: FREY, K., et al. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o planejamento e a governança ambiental na Macrometrópole Paulista**. Santo André: EduUFABC, 2020. Cap. 10, p. 117-132.

KHERBACHE, N. Water policy in Algeria: limits of supply model and perspectives of water demand management (WDM). **Desalination and Water Treatment**, n. 180, p. 141-155, Março 2020.

KOECH, R.; CARDELL-OLIVER, R.; SYME, G. Smart water metering: adoption, regulatory and social considerations. **Australian Journal of Water Resources**, v. 2, n. 25, p. 173-182, Outubro 2021.

KURODA, E.; PÁDUA, V. Tubulações e acessórios. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. II, 2010. Cap. 15, p. 693-794.

LIMA, G.; BRENTAN, B. Uso racional de energia em sistemas de abastecimento de água. **UFMG**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1 e 2, p. 108-135, Dezembro 2019. ISSN 2316-770X.

LIU, A.; MUKHEIBIR, P. Digital metering feedback and changes in water consumption – A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 134, p. 136-148, Julho 2018. ISSN 0921-3449.

MAGRANI, E. **A internet das coisas**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2018.

MARENGO, J.; TORRES, R.; ALVES, L. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 3-4, n. 129, p. 1189-1200, Agosto 2017.

MARIS, R.; MATTHEWS, Y. Are views of water bodies associated with higher water consumption? An empirical analysis from New Zealand. **Water Resources and Economics**, Hamilton, v. 42, Março 2023. ISSN 22124284.

MATHWORKS. **Help Center**. Site da MathWorks, 2023. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/thingspeak/react-app.html>>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

MEDEIROS, L. **Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para medição inteligente de vazão em redes de abastecimento**. 2022. il: Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

MOHAPATRA, S. *et al.* An IUVWM incorporated model to improve water supply reliability in intermittent and no service areas. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 181, Fevereiro 2022. ISSN 0921-3449. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez292.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0921344922000969>>. Acesso em: 2023.

MONITOR DE SECAS. Janeiro/2015. **Site do Monitor de Secas**, 2015. Disponível em: <<http://funceme.br/app-monitor/mapa?mes=1&ano=2015>>. Acesso em: 2023.

MOTTA, R. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. 2010. il: Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MSAMADYA, S. *et al.* Role of Water Policies in the Adoption of Smart Water Metering and the Future Market. **Water**, Basileia, v. 5, n. 14, 6 Março 2022.

NUNES, E.; FADUL, E.; CERQUEIRA, L. Descentralização na gestão das águas: um processo ainda em construção? **Administração Pública e Gestão Social**, Viçosa, v. 11, n. 3, Julho-Setembro 2019. ISSN 2175-5787.

OLIVEIRA, F.; AMBROZEVICIUS, A. Açude Epitácio Pessoa – Boqueirão (PB): Situação hídrica e perspectivas com a chegada da água da transposição do Rio São Francisco. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 12., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ABRH, 2017. Disponível em: <https://anais.abrhydro.org.br/job.php?Job=2823>. Acesso em: 02/06/2023.

OLIVEIRA, G. **Estudo da eficiência da micromedição e da sua relação com hidrometração e perdas de água na cidade de Mossoró – RN**. 2019. Il: TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Site das Nações Unidas - Brasil, 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>>. Acesso em: 15 Maio 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023: Parcerias e cooperação para a água**. UNESCO. Colombella, p. 2. 2023.

OTOCH, B. *et al.* Gestão de Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas e a Dependência da Trajetória Institucional: Nordeste Brasileiro e Austrália. **Recursos Hídricos**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 43-51, Março 2019. ISSN 0870-1741.

PALLAVI, S. *et al.* Comprehensive understanding of urban water supply management: Towards sustainable water-socio-economic-health-environment nexus. **Water Resources Management**, v. 1, n. 35, p. 315-336, Janeiro 2021. ISSN 0920-4741. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez292.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11269-020-02734-x>>. Acesso em: 2 Junho 2023.

PARAÍBA. Lei Nº 6.308, de 02 de julho de 1996. **Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências**. João Pessoa, PB: Diário Oficial do Estado, 1996.

RAMSEY, E.; BERGLUND, E.Z.; GOYAL, R. The Impact of Demographic Factors, Beliefs, and Social Influences on Residential Water Consumption and Implications for Non-Price Policies in Urban India. **Water**. 2017. 9 ed. n 11. 844.

RAUTENBERG, S.; CARMO, P. Big data e ciência de dados: complementariedade conceitual no processo de tomada de decisão. **Brazilian Journal of Information Studies: Research Trends**, Marília, v. 13, n. 1, p. 56-67, 2019. ISSN 1981-1640.

REDIANA, R.; PHARMASETIWAN, B. Designing a business model for smart water management system with the smart metering system as a core technology: Case study: Indonesian drinking water utilities. 2017 **International Conference on ICT for Smart Society - ICISS**. Tangerang: [s.n.]. 2017. p. 1-6.

RIBEIRO, M. **Automação Industrial**. 4ª. ed. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria, 2001.

ROCHA, C. et al. **Riscos aos mananciais de abastecimento público de Juiz de Fora - MG - Brasil**. XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju: ABRH. 2023

SALEHI, M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. **Environment International**, n. 158, Outubro 2021. ISSN 0160-4120. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez292.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0160412021005614>>. Acesso em: 2023.

SANTA CATARINA. Lei Nº 9.748, de 30 de novembro de 1994. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Florianópolis, SC: Diário Oficial do Estado, 1994.

SÃO PAULO. Lei Nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. **Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo, SP: Diário Oficial do Estado, 1991.

SAVENIJE, H. H. G.; VAN DER ZAAG, P. Water as an Economic Good and Demand Management Paradigms with Pitfalls. **Water International**, v. 27, n. 1, p. 98-104, March 2009.

SCHNEIDER, E. **Modelo de cobrança pelo uso da água: relação com conservação de serviços ambientais e eficiência de sistemas**. 2022. 150 f.; il. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022.

SHARMA, K.; SEETHARAMAN, A.; MADDULETY, K. Framework for sustainable urban water management in context of governance, infrastructure, technology and economics. **Water Resources Management**, v. 12, n. 35, p. 3903-3913, Setembro 2021. ISSN 0920-4741.

SILVA, Higo. **Rastreo da água da rede de abastecimento da cidade de Guarabira - PB**. 2020. il: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

SILVA, João. **Modelo de sistema de automação aplicado à operação de redes de abastecimento hídrico**. 2019. il: Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SILVA, Julian. **Como aplicar hidrômetros individuais em edificações**. Alto QI, 2018.

SIQUEIRA, N.; SOUZA, P. Medidor prismático hexagonal: uma alternativa à macromedição. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 5, p. 649-653, Outubro 2020. ISSN 1809-4457.

SLANÝ, V. et al. An Integrated IoT Architecture for Smart Metering Using Next Generation Sensor for Water Management Based on LoRaWAN Technology: A Pilot Study. **Sensors**, Basileia, n. 20, Agosto 2020. ISSN 1424-8220.

STAVENHAGEN, M; BUURMAN, J; TORTAJADA, C. Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. **Elsevier Journal**, v. 79, p. 187-195, set. 2018.

STEWART, R. *et al.* Integrated intelligent water-energy metering systems and informatics: Visioning a digital multi-utility service provider. **Environmental Modelling and Software**, n. 105, p. 94-117, Julho 2018. ISSN 1364-8152.

SOBRINHO, R.; BORJA, P. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.21. n.4. p. 783-795. 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016116037

SOUSA, L. *et al.* Avaliação de alternativas direcionadas à redução do consumo de água potável em residências: estudo de caso em Caruaru, PE, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 465-487, out./dez. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400483>

SOUZA, F.; PERTEL, M. Complexidades para a aplicação dos aspectos normativos para a gestão de recursos hídricos no Brasil. **Perspectivas Online: Exatas & Engenharia**, Campos dos Goytacazes, v. 10, n. 27, p. 70-82, Fevereiro 2020. ISSN 2236-885X. DOI: 10.25242/885X102720201747

TAGNIN, R.; CAPELLARI, B.; RODRIGUES, L. Novas fontes de suprimento de água para a macrometrópole Paulista: reproduzindo crises? **InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 53-73, Junho 2016. ISSN 1980-0894.

THE WORLD BANK. **Impact Assessment on Smart Metering: Data and methodologies for a cost-benefit analysis of smart metering implementation in Romania**. National Regulatory Authority for Energy. Bucareste, 83p. 2018.

VIEIRA, Z. **Metodologia de análise de conflitos na implantação de medidas de gestão da demanda de água**. 2008. 237f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.