



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba

CAÍQUE VENDEMIATTI

SISTEMA REMOTO PARA MONITORAMENTO DO CONSUMO DE
ÁGUA EM TEMPO REAL

Sorocaba - SP

2020

CAÍQUE VENDEMIATTI

**SISTEMA REMOTO PARA MONITORAMENTO DO CONSUMO DE
ÁGUA EM TEMPO REAL**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica Interunidades, entre o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba e o Campus de São João da Boa Vista, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão

Coorientador: Prof. Dr. Ivando Severino Diniz

Sorocaba - SP

2020

V452s Vendemiatti, Caíque
Sistema remoto para monitoramento do consumo de
água em tempo real / Caíque Vendemiatti. -- Sorocaba,
2020
111 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Fernando Pinhabel Marafão
Coorientador: Ivando Severino Diniz

1. Hidrômetro. 2. Sistemas de coleta automática de
dados. 3. Água Vazamento. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Sistema de Monitoramento do Consumo de Água em Tempo Real

AUTOR: CAÍQUE VENDEMIATTI

ORIENTADOR: FERNANDO PINHABEL MARAFAO

COORIENTADOR: IVANDO SEVERINO DINIZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA ELÉTRICA, área: Sistemas Eletrônicos pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. FERNANDO PINHABEL MARAFAO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Controle e Automação / Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP - Câmpus de Sorocaba



Prof. Dr. EDUARDO PACIÊNCIA GODOY (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Controle e Automação / Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP - Câmpus de Sorocaba



Prof. Dr. ALEXANDRE CÂNDIDO MOREIRA (Participação Virtual)
Núcleo de Inovação, Pesquisa e Ensino em Mecatrônica - NIPEM / Universidade Federal de São João del-Rei

Sorocaba, 18 de novembro de 2020.

*Tenha a atitude de um aluno, nunca seja importante demais para fazer perguntas,
nunca saiba demais para aprender algo novo. (Og Mandino)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente aos meus orientadores, Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão e Prof. Dr. Ivando Severino Diniz, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Também a empresa Yamatec Indústria de Ferramentas Eletromecânicas - LTDA M.E., pelo fomento ao desenvolvimento deste trabalho, e pela disponibilização de dados coletados por eles para análises.

E por último, mas não menos importante, a minha família pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento deste trabalho, em especial meus pais Gislaine e Ronaldo Vendemiatti, e também a minha esposa Maria Paula Scherrer.

Prefácio

Este trabalho teve início através de uma parceria Universidade-Empresa firmada entre o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba – UNESP e a empresa Yamatec Indústria de Ferramentas Eletromecânicas – LTDA M.E, com a intermediação da AUIN (Agência Unesp de Inovação). Tal cooperação, iniciada em 2017, tinha o objetivo de desenvolvimento de um sistema para detecção remota de vazamentos de água em tempo real. Pouco após o início da parceria, o autor deste trabalho foi contratado como estagiário pela empresa, para atuar no projeto do sistema solicitado. Os desenvolvimentos e resultados iniciais do projeto viabilizaram o trabalho de graduação do autor, assim como um pedido de patente do sistema de medição remota e automática de consumo de água desenvolvido. Ainda no ano de 2017, os primeiros protótipos de medidores foram instalados em consumidores industriais e residenciais e, para a execução deste trabalho, a empresa cedeu conjuntos de dados de consumidores, sendo alguns advindos dos primeiros equipamentos instalados. Desta forma, este trabalho de mestrado é baseado na evolução do projeto citado e indica o estágio atual do sistema desenvolvido, bem como algumas possibilidades de análise do consumo de água através dos dados históricos disponíveis.

RESUMO

Os sistemas de distribuição de água se fizeram fundamentais para o processo da urbanização da sociedade, passando por diversas modificações até atingir a estrutura atual. Para garantir fornecimento constante de água, parâmetros do sistema devem ser monitorados em função de normas específicas, sendo os principais parâmetros a pressão e o volume consumido. Entretanto, neste mesmo cenário de urbanização surge também a preocupação com o meio ambiente e a necessidade de otimizar o consumo de água. Para isto, não basta considerar o consumo inconsciente, mas também a ocorrência de vazamentos. Métodos tradicionais de detecção de vazamentos são lentos e demandam equipe especializada, e para um consumidor final são percebidos usualmente quando ocorre aumento no valor cobrado na tarifa mensal. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um medidor remoto e automático de parâmetros de utilização de água para gerar dados que permitissem detectar alterações em padrões de consumo e a ocorrência de vazamentos com maior agilidade. Para isto foram empregados sensores de vazão e pressão, conectados através de um circuito de condicionamento de sinais a um microcontrolador com conectividade Wi-Fi, que por sua vez realiza a leitura dos sensores e envia os valores a um servidor de armazenamento. O sistema desenvolvido foi validado com equipamento de recirculação de água, e em seguida instalado em pontos consumidores para a coleta de dados reais de consumo. Com as informações obtidas, padrões de utilização foram gerados, permitindo detectar a ocorrência de vazamentos em consumidores residenciais, bem como alterações nos padrões de consumo de consumidores residenciais e industriais, as quais são geradas por alterações na rotina de utilização de água.

Palavras-chave: Hidrômetro, Sistemas de coleta automática de dados, Água Vazamento.

Abstract

The water distribution systems were essential for urbanization process, undergoing by some modifications until reach the current structure. For allowing constant water supply, system parameters need to be monitored according technical standards. The main parameters to be monitored are pressure and consumed volume. However, at same scenario of urbanization growth also appears the concern with the environment and the need for water consumption optimization. For doing this, it is not enough carrying only about unaware consumption, but also the leakages incidences. Traditional methods employed on leakage detection are slow and demands well trained teams, and for end consumers are only found when the monthly water consumption bill increases. In this context, this work has intended to develop a remote and automate water consumption parameter meter for generating data that allows fast detection of consumption patterns changes and leakage incidence. To this end were employed flow rate and pressure sensors, connected through signal conditioning circuits to a microcontroller with embedded connectivity, that by itself read the sensor sent the data to a storage server. The developed system was validated using a water recirculation system and later installed on end consumers for collecting real consumption real. With the collected data, consumption patterns were generated, allowing to detect leakage on residential consumers, as well as changes on consumption patterns for residential and industrial consumers, which are generated by changes on water consumption routine.

Keywords: Hydrometer, Automatic data collection systems, Water Leakage.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Objetivos de uma cidade inteligente.	24
FIGURA 1.2 – Técnico realizando varredura em rede de água para a detecção do vazamento.	26
FIGURA 2.1 – Tipos de hidrômetros.	34
FIGURA 2.2 – Medidor baseado em nutação.	35
FIGURA 2.3 – Medidor Woltmann originalmente desenvolvido para fluxos em sistemas abertos.	36
FIGURA 2.4 – Medidor Woltmann em corte após modificação para fluxos fechados.	36
FIGURA 2.5 – Medidor multijato em corte permitindo visualizar fendas de direcionamento e o rotor.	37
FIGURA 2.6 – Hidrômetro eletromagnético empregado comercialmente.	38
FIGURA 2.7 – Hidrômetro ultrassônico empregado comercialmente.	39
FIGURA 3.1 – Elementos resistivos sensíveis a deformação sobre diafragma.	50
FIGURA 3.2 – Sensor de pressão PS-10b.	51
FIGURA 3.3 – Sensor de vazão YF-B6.	52
FIGURA 3.4 – Módulo ESP01.	53
FIGURA 3.5 – Módulo ESP12E.	53
FIGURA 3.6 – Placa de desenvolvimento NodeMCU ESP12E.	54
FIGURA 4.1 – Diagrama de blocos do sistema medidor de consumo de água proposto.	57
FIGURA 4.2 – Circuito de condicionamento do sinal de pressão.	58
FIGURA 4.3 – Circuito que condicionamento do sinal analógico de pressão, sem a necessidade de fonte simétrica.	59
FIGURA 4.4 – Circuito que condicionamento de sinal analógico sem a necessidade de fonte simétrica, para uma entrada em $V_{p-in} = 5V$ e $V_{p-out} = 3,3V$, respectivamente azul e laranja.	60
FIGURA 4.5 – Circuito para condicionamento de sinal pulsado.	61
FIGURA 4.6 – Resultado da simulação do circuito de condicionamento do sinal de vazão, para uma entrada $V_{p-in} = 5V$ e $V_{p-out} = 3,3V$, respectivamente azul e laranja.	61
FIGURA 4.7 – Diagrama de blocos de PCB para o medidor eletrônico de consumo de água.	62
FIGURA 4.8 – Placa concebida e implementada para a aquisição e envio dos dados.	63
FIGURA 4.9 – Diagrama de Blocos do código PHP.	66
FIGURA 4.10–Diagrama de blocos do programa implementado no ESP-12E.	67
FIGURA 4.11–Dispositivo com 18 ESP12-E para testes de envios simultâneos de dados.	68

FIGURA 4.12–Circuito de recirculação de água com os sensores e a placa de aquisição instalados.	69
FIGURA 4.13–Detalhe da montagem dos sensores e da conexão com a placa.	69
FIGURA 4.14–Leituras realizadas no hidrômetro do sistema de recirculação de água, ao início e fim do período de coleta de dados.	71
FIGURA 4.15–Circuito regulador de tensão com alta corrente de saída	72
FIGURA 4.16–Circuito com relés para integração de <i>power-bank</i>	73
FIGURA 4.17–Modelo 3D de PCB concebida para conter os circuitos de alimentação do medidor	73
FIGURA 4.18–Modelo 3D de nova placa de circuitos de condicionamento de sinais.	74
FIGURA 5.1 – Consumo de água por horário para o consumidor Residencial A, no dia 7 de maio de 2019.	75
FIGURA 5.2 – Consumo de água por horário para o consumidor Residencial B, no dia 7 de maio de 2019.	76
FIGURA 5.3 – Consumo de água por horário para o consumidor Residencial C, no dia 7 de maio de 2019.	76
FIGURA 5.4 – Consumo de água em dia com vazamento para o consumidor Residencial A.	78
FIGURA 5.5 – Consumo de água em dia com vazamento para o consumidor Residencial B.	79
FIGURA 5.6 – Consumo de água em dia com vazamento para o consumidor Residencial C.	80
FIGURA 5.7 – Consumo de água no intervalo entre detecção e correção de vazamento para o consumidor residencial C.	81
FIGURA 5.8 – Consumo de água por horário para o consumidor Industrial A, em 14 de janeiro de 2019.	82
FIGURA 5.9 – Consumo de água por horário para o consumidor Industrial B, em 11 de fevereiro de 2019.	83
FIGURA 5.10–Consumo de água por horário para o consumidor Industrial C, em 22 de janeiro de 2020.	83
FIGURA 5.11–Consumo de água por mês (barras azuis) e média de consumo (linha laranja) para o consumidor Industrial A.	84
FIGURA 5.12–Consumo de água por mês (barras azuis) e média de consumo (linha laranja) para o consumidor Industrial B.	85
FIGURA A.1–Diagrama de blocos do código Index.php.	105
FIGURA A.2–Diagrama de blocos do código Database.php.	106
FIGURA A.3–Diagrama de blocos do código Connection.php.	107
FIGURA A.4–Diagrama de blocos do código Config.php.	108

FIGURA B.1–Diagrama de blocos código implementado para envio dados com a leitura dos sensores, página 1.	109
FIGURA B.2–Diagrama de blocos código implementado para envio dados com a leitura dos sensores, página 2.	110
FIGURA C.1–Diagrama de blocos código implementado realizar a busca por con- sumo contínuo no período da madrugada.	111

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Tabela comparativa entre redes de comunicação aplicáveis ao projeto.	43
TABELA 3.1 – Tabela comparativa entre ESP01 e ESP12E.	54
TABELA 4.1 – Tabela representativa do modelo utilizado no banco de dados.	63
TABELA 4.2 – Dados reais de pressão, vazão e consumo obtidos no sistema de recirculação de água.	70
TABELA 4.3 – Dados reais de pressão e vazão coletados do sistema de recirculação.	71
TABELA 5.1 – Dias com consumo atípico encontrados para os consumidores residenciais.	78
TABELA 5.2 – Amostra dos dados relativos ao dia 13 de maio de 2019 no período da madrugada, para o consumidor Residencial A.	79
TABELA 5.3 – Amostra dos dados relativos ao dia 27 de setembro de 2019 no período da madrugada.	80
TABELA 5.4 – Amostra dos dados relativos ao dia 8 de agosto de de 2019 no período da madrugada, para o consumidor Residencial C.	81
TABELA 5.5 – Quantidade de dias analisados <i>versus</i> dias com consumo contínuo durante a madrugada.	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicativos)
ARP	Address Resolution Protocol (Protocolo de Resolução por Endereço)
AUIN	Agência Unesp de Inovação
BB-PLC	Broadband - Power Line Communication (Banda Larga em Comunicação em Linhas de Energia)
CLP	Controlador Lógico Programável
DIP	Dual In-line Package (Pacote Duplo em Linha)
ETA	Estação de tratamento de água
FTP	File Transfer Protocol (Protocolo de Transferência de Arquivos)
GPRS	General Packet Radio Services (Serviços de Radio de Pacote Geral)
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicações Móveis)
GUI	Graphical User Interface (Interface Gráfica do Usuário)
HTTP	Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferência de Hipertexto)
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure (Protocolo Seguro de Transferência de Hipertexto)
ICMP	Internet Control Message Protocol (Protocolo Mensagens de Controle de Internet)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
MQTT	Message Queue Telemetry Transport (Filas de Transporte de Mensagem de Telemetria)
NB-PLC	Narrowband Power Line Communication (Comunicação Banda Estreita através de Linhas de Energia)

NBR	Norma Brasileira
OSI	Open System Interconnection (Interconexão de Sistemas Abertos)
P2P	Point-to-point (Ponto a ponto)
PCB	Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impresso)
PHP	Hypertext Preprocessor(Pré-processador de Hipertexto)
PLC	Power Line Communication (Comunicação em Linhas de Energia)
PTH	Pin Through Hole (Pino através de furo)
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SMD	Surface Mounted Device (Dispositivo montado na superfície)
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol (Protocolo de Transferência de Correio Simples)
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
SQL	Structured Query Language (Linguagem de Consulta Estruturada)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Controle de Transmissão)
URL	Uniform Resource Locator (Localizador Padrão de Recursos)
Wi-Fi	Wireless Fidelity
XAMMP	X (Diferentes Sistemas Operacionais), Apache, MariaDB, PHP, Perl

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Perdas de água e proteção ao meio ambiente	24
1.2	Objetivos da dissertação	27
1.3	Publicações realizadas	28
1.4	Organização do trabalho	28
2	REVISÃO CONCEITUAL	31
2.1	Sistemas de distribuição de água	31
2.1.1	Indicadores de distribuição e consumo	32
2.2	Medidores de consumo de água	33
2.3	Redes de comunicação aplicáveis a sistemas de monitoramento remotos	39
2.3.1	Redes Cabeadas	40
2.3.2	Redes sem fios	42
2.3.3	Comparativo entre as redes	43
2.4	Trabalhos relacionados e contribuições	44
2.5	Conclusão Parcial	47
3	MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1	Sensores	49
3.1.1	Sensores de pressão	49
3.1.2	Sensores de vazão	51
3.2	Microcontrolador	52
3.3	Tecnologias de software	55
3.4	Conclusão parcial	55
4	PROPOSTA DE MEDIDOR DE CONSUMO DE ÁGUA AU- TOMÁTICO	57
4.1	Desenvolvimento de hardware	57
4.1.1	Condicionamento de sinais	57
4.1.1.1	Sensor de pressão	58
4.1.1.2	Sensor de vazão	60
4.1.2	Desenvolvimento de PCB	62
4.2	Desenvolvimento de software	63
4.2.1	Banco de dados	63
4.2.2	Código PHP	64

4.2.3	Envio de dados a partir do ESP12E com conexão Wi-Fi	66
4.2.4	Análise da robustez da comunicação de dados	67
4.3	Integração de hardware e software	68
4.3.1	Sistema integrado para validação de dados	68
4.3.2	Alimentação do medidor	71
4.4	Conclusão parcial	74
5	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	75
5.1	Consumidor residencial	75
5.1.1	Busca por consumos contínuos	76
5.2	Consumidor industrial	82
5.2.1	Análise estatística de variações de consumo	84
5.2.2	Análise dos dados de pressão	86
5.3	Conclusão parcial	86
6	CONCLUSÕES	89
6.1	Propostas de trabalhos futuros	91
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICES	103
	APÊNDICE A – DIAGRAMA DE BLOCOS CÓDIGOS PHP	105
	APÊNDICE B – DIAGRAMA DE BLOCOS CÓDIGO MI- CROCONTROLADOR	109
	APÊNDICE C – DIAGRAMA DE BLOCOS DO CÓDIGO DE BUSCA POR VAZAMENTOS	111

1 Introdução

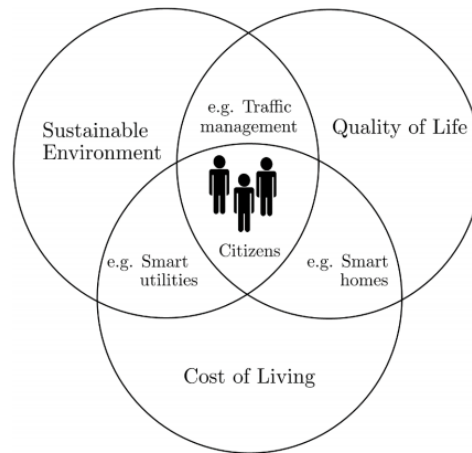
Dados apontam que a população mundial ultrapassou 7 bilhões de pessoas, sendo que mais da metade da população vive no perímetro urbano, e com crescimento esperado em 70% até 2050 (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015). A fim de permitir este crescimento de modo sustentável, ou seja, sem degradar recursos naturais como a água, é necessário que seja incorporada inteligência às cidades, permitindo bem-estar social e ambiental (GHARAIBEH et al., 2017).

"O metabolismo das cidades consiste geralmente na entrada de bens e na saída de lixo, com consistentes externalidades negativas, que amplificam problemas sociais e econômicos. Cidades dependem de muitos recursos externos, como, de fato, são (e provavelmente serão) consumidoras de recursos. Promover sustentabilidade é visto como a promoção das reservas de recursos naturais."(ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015)

Como o processo de urbanização é irreversível, países ao redor do globo já iniciaram a implementação de tecnologias inteligentes para se adequar aos desafios atuais e futuros relativos ao aumento da urbanização. Com políticas que envolvem conexão entre diferentes meios de transporte, uso da terra para produção combinada, como por exemplo de alimentos e de energia elétrica, e melhoria nos serviços urbanos com efeitos positivos na economia (YIN et al., 2015; OKAI; FENG; SANT, 2018; ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015).

"Muitas das novas abordagens relativas a serviços urbanos baseadas na integração de tecnologias, incluindo as de informação e comunicação, ajudam a criar o que chamamos de *smart cities*". (ALBINO; BERARDI; DANGELICO, 2015)

A principal expectativa advinda de uma cidade inteligente é o emprego de computação e comunicação para a análise de grandes quantidades de informações, de modo que sejam beneficiados tanto os interesses e a qualidade de vida dos cidadãos, e também protegendo o meio ambiente (GHARAIBEH et al., 2017), como apresentado na Figura 1.1. Que pode ser complementada pelo descrito no trabalho de Albino, Berardi e Dangelico (2015), que se afirma que uma cidade inteligente engloba uma grande presença de tecnologias de informação e comunicação inseridas em serviços e componentes de infraestrutura crítica, sendo que as tecnologias permeiam serviços e produtos que são oferecidos de maneira inteligente, a máquinas inteligentes. Dentre os aspectos relativos à proteção do meio ambiente providos por uma cidade inteligente, está o gerenciamento de fontes sustentáveis de energia, fauna e flora, e também a utilização de água, seja para o consumo propriamente dito, como a utilização para geração de eletricidade (PELLICER et al., 2013).

Figura 1.1 – Objetivos de uma cidade inteligente.

Fonte: [Gharaibeh et al. \(2017\)](#).

1.1 Perdas de água e proteção ao meio ambiente

Manejo de resíduos e controle da qualidade do ar e de contaminação dos solos figuram entre as atividades necessárias para a proteção ao meio ambiente. Entretanto, além delas, outras ações são necessárias, como a otimização do consumo de recursos naturais, que são descritos por [Venturi \(2006\)](#), como "qualquer elemento da natureza que possa ser explorado pelo Homem", e dentre tais bens está incluída a água. ([VENDEMIATTI, 2018](#)). Não se pode considerar apenas consumo inconsciente e vazamentos visíveis como causadores de perdas de água, sendo importante considerar o sistema de distribuição, em especial os vazamentos não visíveis, os quais ocorrem em tubulações isoladas no solo ou em construções ([BRASIL, 2017](#); [MONTEIRO; SALVAGNINI; NUNES, 2017](#)).

No Brasil, o órgão responsável por gerar as informações relativas ao sistema de saneamento é o SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, o qual disponibiliza, os indicadores de perdas de água. Tal órgão divulga anualmente um relatório que apresenta a situação dos sistemas de distribuição de água e coleta de esgoto no Brasil, tido como Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Neste relatório, [Brasil \(2017\)](#), tem-se que "As perdas que se caracterizam como ineficiências técnicas são inerentes a qualquer sistema de abastecimento de água. E são um tema sempre atual devido à escassez hídrica e os altos custos de energia elétrica", este último, tanto influenciado pela capacidade geradora de energia elétrica, tanto pela eletricidade consumida para a distribuição de água.

Disto, é possível inferir que as perdas estarão sempre presentes nos sistemas de abastecimento de água, porém, quando descontroladas e elevadas, significam desperdício de recursos naturais, operacionais e receitas, o que impacta tanto o operador do sistema, que tem seus custos elevados, como o consumidor final, que é cobrado pelos maiores

custos de distribuição de água, além do impacto gerado ao meio ambiente. Neste cenário, demonstra-se que se deve cuidar do sistema de modo que as perdas sejam reduzidas, e a população não seja onerada, tanto financeiramente, quanto pela necessidade de medidas drásticas de redução de consumo (BRASIL, 2019).

Quando observado o sistema de distribuição, as principais perdas se dão por vazamentos que ocorrem em adutoras, ramais, conexões e reservatórios. Tais perdas são definidas pelo SNIS, em Brasil (2019), como perdas reais, contudo, ainda existem as perdas aparentes, que são decorrentes de ligações clandestinas, degradação de precisão e funcionamento inadequado de hidrômetros, bem como por erros de leitura (BRASIL, 2017). O cálculo da perda percentual de água é realizado a partir da diferença entre o volume de água produzido pelo sistema de tratamento e o volume consumido, dividido pelo volume de água produzido, descontando-se atividades operacionais. No mesmo relatório do SNIS, são apresentadas as perdas de países como Alemanha e Japão, que já alcançaram níveis de perdas inferiores a 10% além de Austrália e Nova Zelândia que atingiram níveis ainda menores.

No Brasil, as perdas percentuais atingiram 38,3% em 2017, porém a região Norte foi a que apresentou o maior índice de perdas, com 55,1% do volume tratado perdido. Observando-se a série histórica apresentada no relatório do SNIS, Brasil (2019), constata-se que houve aumento no volume perdido entre 2015 a 2017, quando se tinha um nível 1,4 ponto percentual abaixo do valor atual, após queda observada no período entre 2012 a 2015 Brasil (2019).

Entretanto, manter os sistemas em bom estado de conservação requer políticas de manutenção constantes e o emprego de tecnologias específicas. Dado que uma vez isoladas as tubulações, não é possível identificar com agilidade o local em que ocorre um vazamento.

Dentre as técnicas empregadas para a detecção de vazamentos invisíveis está o emprego da metodologia de detecção por som, a qual se baseia no fato de que ruídos são gerados pelos vazamentos, em decorrência do atrito da água com a fissura no tubo e o impacto nas estruturas ao seu redor. Em tal técnica, um operador humano, com o auxílio de um Geofone (equipamento de captação e amplificação de sons no solo ou em estruturas) consegue identificar o local de um vazamento (BRASIL, 2018; MONTEIRO; SALVAGNINI; NUNES, 2017). Na Figura 1.2 pode-se observar um técnico realizando a varredura com um geofone em uma residência, equipamento que possui grande similaridade com o empregado para a detecção de vazamentos não visíveis em sistemas de saneamento.

Figura 1.2 – Técnico realizando varredura em rede de água para a detecção do vazamento.



Fonte: [Monteiro, Salvagnini e Nunes \(2017\)](#).

Entretanto, tal tarefa demanda tempo e a varredura ocorre de maneira lenta, uma vez que requer a análise de longos trechos de tubulação, a qual em muitos casos só pode ser realizada em horários em que não haja movimentação de pessoas ou veículos, pois a frequência de um ruído externo pode ocorrer na mesma frequência do ruído do vazamento, atrapalhando o processo de captação do áudio do vazamento. Uma concessionária de distribuição de água tem como indicadores de vazamentos nas redes a perda de pressão nas unidades pontos consumidoras, e também a diferença entre o volume de água enviado para uma determinada região, com o volume mensurado pelos hidrômetros dos consumidores ([BRASIL, 2017](#); [BRASIL, 2019](#); [MONTEIRO; SALVAGNINI; NUNES, 2017](#)).

Já para o consumidor final, além dos casos citados anteriormente, o vazamento é percebido quando ocorre um aumento no valor da sua conta mensal de água. Neste ambiente, os vazamentos também são classificados como não visíveis, que como já explicitado, ocorre em tubulações isoladas em estruturas e solo, ou visíveis, os quais estão atrelados a torneiras com problemas de vedação, caixas de descarga acopladas mal reguladas, problemas que podem ser detectados com inspeção visual, sem equipamento profissional, como um geofone. Entretanto, após ocorrer a perda de água em um vazamento, o consumidor é responsabilizado e precisa pagar pelo volume de água perdido em sua instalação ([MONTEIRO; SALVAGNINI; NUNES, 2017](#); [VENDEMIATTI, 2018](#); [BRASIL, 2019](#)). Em alguns casos, após algum tempo de um vazamento não visível, a água pode aflorar, mas não necessariamente no ponto exato do vazamento, bem como danos estruturais mais graves já podem ter acontecido. Portanto são necessárias novas metodologias, que otimizem o

processo de detecção do vazamento, buscando reduzir, com maior agilidade, o volume de perdas.

Assim, surge a necessidade por um sistema que permita identificar a ocorrência de vazamentos ocorrendo no sistema com maior agilidade do que a observada atualmente. Empregando coleta de dados em tempo real para permitir identificar vazamentos no lado do consumidor final, quando observa-se um fluxo contínuo de água em horários que não era observado, ou no lado do sistema de distribuição através da identificação de quedas de pressão e também de diferenças entre o volume de água enviado para uma determinada localidade (rua, bairro) e o volume de consumido (GAMBOA-MEDINA, 2017).

Através da análise dos dados coletados por este novo sistema, empregando-se análises dos padrões de consumo aliadas a busca pelo consumo contínuo de água, se faz possível identificar a presença de vazamentos em consumidores finais, e reduzir o tempo de tomada de ação correção do problema. Bem como conscientizar o usuário do volume por ele consumido de água e também sobre seu padrão de utilização.

Do ponto de vista dos órgãos governamentais e distribuidoras de água, caso sejam aplicados os medidores eletrônicos nas unidades consumidoras, e em pontos estratégicos do sistema de distribuição, será possível realizar o comparativo entre o volume enviado para uma determinada região e o consumo de água. Deste modo, em caso de diferenças, pode-se otimizar o trabalho dos técnicos que realizam a busca por pontos de vazamento específicos a partir de métodos acústicos. Além disso, com os dados pode-se obter um melhor planejamento da utilização de reservatórios e traçar políticas de utilização consciente de água, bem como identificar falta de água em pontos da rede, através da variação da pressão da água entregue ao consumidor, ou mesmo realizar a tarifação horária do consumo.

1.2 Objetivos da dissertação

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um medidor remoto e automático para coleta de dados relativos ao consumo de água, tais como pressão e vazão. Tal equipamento capta sinais de sensores relativos aos parâmetros de consumo, e então, a partir de uma rede de comunicação envia os dados para um servidor de armazenamento. Então, utilizando dados coletados pelo equipamento em consumidores finais, foram realizadas análises com o intuito de detectar alterações nos padrões de consumo dos locais em que o medidor foi instalado, alterações estas relacionadas ao aumento do volume global consumido e consumo contínuo no período noturno. Desta forma, pretende-se contribuir com a redução no tempo de identificação da ocorrência de vazamentos, visando minimizar os impactos financeiros e ambientais por eles causados.

1.3 Publicações realizadas

Durante este trabalho, foram publicados os seguintes trabalhos relacionados ao tema da dissertação:

- YAMASAKI, F. Y.; VENDEMIATTI, C.; MONTEIRO, L. N.; DINIZ, I. S.; MARAFÃO, F. P.; GONÇALVES, F. A. S. Método de Monitoramento E/Ou Gerenciamento de Sistemas de Distribuição de Fluídos, Sistema de Distribuição de Fluídos que Utiliza tal Método e Uso do Método de Gerenciamento. Titulares: Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho / Yamatec Indústria e Comércio de Equipamentos Eletromecânicos LTDA - ME. Procurador: RENAN PADRON ALMEIDA. BR n. BR 10 2018 068145 1. Depósito: 06 set. 2018.
- MONTEIRO, L. N.; VENDEMIATTI, C.; SIMÕES, A. S.; DINIZ, I.; MARAFÃO, F. P. Caracterização do Consumo de Água Residencial utilizando Redes Neurais Artificiais. *Anais do 14^o Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 2244-2249, 2019. Galoa. <http://dx.doi.org/10.17648/sbai-2019-111471>.
- VENDEMIATTI, C.; MONTEIRO, L. N.; DINIZ, I. S.; MARAFÃO, F. P. Sistema Embarcado para Coleta de Dados de Consumo de Água via Rede Wi-Fi. *V Workshop de Integração de Saberes Ambientais*, Sorocaba, v. 1, nov. 2019.

1.4 Organização do trabalho

Este capítulo trouxe um panorama sobre o cenário de perdas de água nos sistemas de distribuição, em especial as relacionadas a vazamentos visíveis e não visíveis, técnicas tradicionalmente empregadas para a detecção de vazamentos, bem como demonstrou a necessidade por um sistema capaz de identificar a ocorrência de um vazamento e otimizar o tempo para sua correção. O Capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre os sistemas de distribuição de água e equipamentos empregados para seu monitoramento e tarifação do consumo, e também revisa redes de comunicação que podem ser empregadas em equipamentos de medição remotos, buscando identificar a mais adequada ao sistema proposto. O Capítulo 3 aborda tecnologias de hardware e software que podem ser aplicadas ao desenvolvimento de um sistema para medição remota e automática do consumo de água.

No Capítulo 4 é apresentado o desenvolvimento do sistema proposto, tanto no tocante ao hardware para leitura dos sensores de consumo de água, como do software para recepção e armazenamento de dados através de redes de comunicação sem fios. Também são analisadas a robustez da comunicação de dados, a realização a integração entre hardware e software e, validação da coleta de dados por parte do medidor remoto desenvolvido. Por

fim, no Capítulo 5 é realizada a análise de dados coletados pelo medidor desenvolvido e instalado em pontos consumidores, com o intuito de identificar alterações nos padrões de consumo de instalações residenciais e industriais, que são indicadoras de prováveis vazamentos. Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões deste trabalho, bem como propostas de trabalhos futuros.

2 Revisão conceitual

2.1 Sistemas de distribuição de água

Os primeiros sistemas de distribuição de água urbanos datam da era do Bronze (2,800–1,100 a.C.) (MAYS; KOUTSOYIANNIS; ANGELAKIS, 2007), podendo ser citados diversos exemplos de aplicações, como um centro urbano da civilização Indu, Mohenjodaro, composto por 700 poços de água para alimentar não somente a utilização doméstica, mas também piscinas públicas e privadas (MAYS; KOUTSOYIANNIS; ANGELAKIS, 2007; MALA-JETMAROVA; BARTON; BAGIROV, 2014). Na Pérsia, também foram desenvolvidos outros sistemas de distribuição de água, em que túneis subterrâneos foram empregados para coletar a água e transportá-la a longas distâncias; tal sistema ficou conhecido como “Qanat” (HASSAN, 2003).

Com o tempo, os sistemas passaram por grandes evoluções e melhorias, como, por exemplo, o sistema grego de túneis e pontes, que sofreu modificações e melhorias pelos romanos, e foi implementado em larga escala. Tal sistema data de 100 a.C. a 500 d.C, porém, com a degradação das fontes de água e devido às condições sanitárias da época, o sistema romano decaiu e, na Europa, a água passou a ser disponibilizada em pontos centrais e transportada por carregadores humanos (MAYS; KOUTSOYIANNIS; ANGELAKIS, 2007).

Apenas depois do período do Renascimento (Séculos XIV a XVII), as técnicas de manejo e distribuição de água foram retomadas, tendo-se então registros do sistema de alimentação do Palácio de Versalhes na França, concluído em 1664 (WALSKY, 2006). Tais sistemas evoluíram, juntamente aos sistemas de bombeamento, permitindo que a água fosse transportada a níveis mais altos e a maiores distâncias (MAYS; KOUTSOYIANNIS; ANGELAKIS, 2007), chegando aos sistemas de abastecimento empregados atualmente.

Um sistema de abastecimento de água é composto pelo:

"conjunto de tubulações, equipamentos, obras civis e serviços destinados a produção e fornecimento de água a comunidades, com fins de consumo doméstico, industrial e público. Tais sistemas podem ainda atender fins de consumo comerciais ou como no auxílio a combate a incêndios"(NASCIMENTO, 2009)

O sistema para a distribuição de água se inicia pela captação do fluído, que pode ser de mananciais subterrâneos ou superficiais, respectivamente, poços e rios, a partir de um sistema de bombeamento, que envia a água para uma estação de tratamento de água (ETA). Dela são retiradas partículas sólidas, bem como são adicionados produtos químicos para eliminar bactérias e outros microrganismos que possam ser danosos àqueles

que a consumirem, assim como também são retirados outros minerais que possam torná-la imprópria para consumo (MARTINS, 2014; GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007).

No Brasil, depois de tratada, é usual que a água seja enviada a reservatórios intermediários, que podem ou não ser elevados, de acordo com a topografia do local, que por sua vez alimentam a rede que está conectada aos pontos de consumo (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007). Pode-se, ainda, ocorrer a necessidade de bombeamento, após o reservatório, para que a água chegue a regiões em níveis mais elevados (BARROS FILHO, 2005).

2.1.1 Indicadores de distribuição e consumo

Para que sejam cumpridas as normas de instalação e fornecimento das redes, em especial a NBR 5626/1998 e a NBR 12218/1994 (ABNT, 1998; ABNT, 2017; GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007), é necessário realizar o controle das linhas de distribuição, monitorando indicadores tais como a pressão e o volume de água consumido, a fim de garantir que todos os pontos consumidores estejam alimentados de maneira ininterrupta, que o volume de água consumido seja corretamente aferido para tarifação e planejamento da rede.

a. Pressão

A pressão é definida como força por unidade de área, e quando tratamos de um fluido, a pressão se refere à força exercida por unidade de área da tubulação que o contém (WHITE, 2007). Porém, no sistema de distribuição ela não é mantida apenas pelos sistemas de pressurização, sofrendo também a influência das variações geográficas (WHITE, 2007; NASCIMENTO, 2009). Controlar a pressão em um sistema de distribuição de água é necessário para que todos os pontos da rede estejam constantemente alimentados. Contudo, além de tal parâmetro sofrer a influência da topografia, consumo e vazamentos também podem alterá-la.

Assim, deve-se sempre cuidar para que a pressão da rede seja alta o suficiente para que os pontos mais elevados do sistema sejam atingidos, sem que os limites estabelecidos pela norma sejam extrapolados. Para isto, pode-se empregar pressurizadores hidráulicos, como bombas, a fim de elevar a pressão da rede e levar a água a pontos mais altos, bem como válvulas reguladoras de pressão, para que nos pontos de topografia de menor altura, a pressão não extrapole o limite estabelecido em norma (GALVÃO, 2007).

No Brasil, a norma que regula a pressão da água a ser entregue ao ponto consumidor é a NBR 5626/1998, a qual define que o limite inferior deve ser de 100 *kPa* e superior de 500 *kPa*. Em caso de pressões abaixo do nível mínimo, o consumidor poderá ficar sem fluxo de água, podendo a pressão ser empregada como um indicador de falta de água

na rede de distribuição. Em casos de valores acima do máximo estabelecido em norma, além do risco de dano às tubulações prediais, os quais podem causar vazamentos, ocorre consumo excessivo de água como descrito em [ABNT \(1998\)](#).

b. Vazão

Para um gerenciamento eficaz do sistema de distribuição de água, também faz-se necessário realizar a medição do consumo, que pode ser dividido em macromedição - aquela que é realizada no sistema público de abastecimento, desde a captação da água dos mananciais até os pontos próximos das ramificações finais da rede - e em micromedição, aquela realizada no ponto de conexão da unidade consumidora com a rede de distribuição, não se diferenciando por volume consumido, como uma casa, ou uma indústria ([BRASIL, 2019](#)).

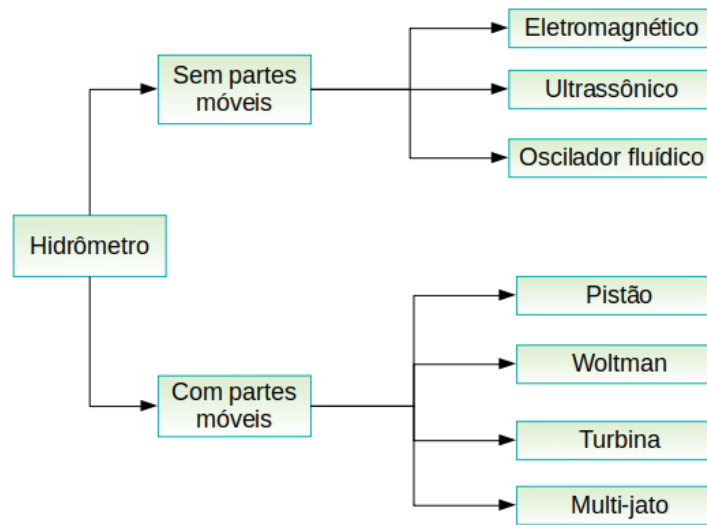
Ainda no mesmo documento, [Brasil \(2019\)](#), fica claro que a medição nas unidades consumidoras "...possibilita a divisão dos custos de manutenção e implementação deste sistema, da mesma forma que também contribui para a preservação do meio ambiente, pois evita desperdício de água por parte do consumidor.". Com os dados de cada uma das unidades consumidoras, aliados à macromedição, pode-se realizar o gerenciamento de perdas na distribuição, e melhorar o controle e operação do sistema de distribuição de água como um todo. ([BRASIL, 2019](#); [U. S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 2001](#)).

2.2 Medidores de consumo de água

Como apresentado anteriormente, é necessária a medição do volume de água que circula em todo o sistema de distribuição e consumo, e para isto devem ser empregados medidores apropriados para tal função. Tais medidores sofreram diversas modificações desde o início da necessidade de medição, ainda na época dos sumérios, até os dispositivos disponíveis na atualidade, que embarcam diferentes tecnologias ([ABDULLAHI et al., 2018](#)).

Um dos primeiros métodos de medição de vazão de água foi desenvolvido pelos sumérios, o qual empregava um recipiente de volume conhecido, e um contador de tempo, colocava-se tal recipiente na saída do fluxo de água, e a partir do tempo tomado para encher tal recipiente, se calculava a vazão([MAYS, 2010](#)). Dentre os medidores desenvolvidos ao longo do tempo, pode-se subdividi-los como apresentado na [Figura 2.1](#), sendo a principal diferença a presença ou não de partes móveis([CRAINIC, 2012a](#)). No primeiro grupo, estão os do tipo multijato ou a turbina, já no segundo, os medidores a pistão, que por sua vez são tidos como os primeiros hidrômetros de água da história.

Figura 2.1 – Tipos de hidrômetros.



Fonte: Crainic (2012a).

a) Medidores por deslocamento positivo

Este tipo de equipamento mede a vazão de água de um fluxo contínuo, e é instalado em série com o fluxo de água. Sua operação ocorre bloqueando momentaneamente o fluxo após o medidor, até que uma câmara de volume conhecido seja preenchida, e liberando o fluxo logo em seguida ao preenchimento da câmara. Ao se monitorar o número de vezes em que a câmara é preenchida por um período específico de tempo, é possível calcular a vazão e o volume de água consumido (A.W.W.A., 2012; CRAINIC, 2012a).

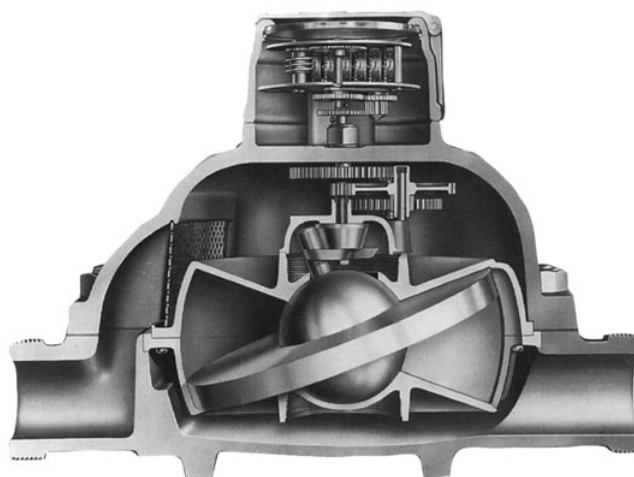
Acredita-se que a primeira patente de medidor de água foi proposta por Willian Sewell, em 1850, e o primeiro medidor, construído por Henry R. Worthington, ambos dos Estados Unidos da América, sendo do tipo a pistão recíproco, de modo que a água que estava adentrando a câmara de um dos cilindros descarregava automaticamente a câmara do outro cilindro. Contudo, tais medidores geravam grandes perdas no fluxo de água, seja pela fricção, seja pela pulsação gerada na rede (A.W.W.A., 2012).

Estes, por sua vez, foram modificados em 1885, para um modelo de pistão único de dupla ação, desenvolvido por Thomas Jennedy, na Inglaterra, que era alimentado por uma válvula que alternava entre as câmaras, e o movimento do pistão acionava um mecanismo de relógio para contar o número de pulsos. Mais de 400 patentes relacionadas a medidores de fluxo de água foram desenvolvidas entre o final do século XIX e início do século XX, porém considerados como de construção impraticável (A.W.W.A., 2012; CRAINIC, 2012a).

Por volta de 1850, foi desenvolvido também um medidor baseado em movimento de natação, em que um disco é apoiado sobre uma esfera, que oscila devido ao fluxo de

água, como apresentado na [Figura 2.2](#). Porém, devido a características construtivas, o disco se fragiliza em vazões muito altas, apresentando falhas em curtos períodos de tempo ([A.W.W.A., 2012](#)).

Figura 2.2 – Medidor baseado em natação.



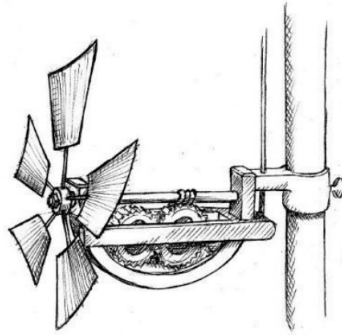
Fonte: [Semrad \(2018\)](#).

b. Medidores por velocidade

Medidores de vazão por velocidade têm como princípio exatamente o descrito no nome, mensurar a velocidade do fluido que atravessa a câmara interna do medidor, podendo totalizar o consumo por metodologias, tais como, turbina ou multijato. E são descritos na norma NBR 212/1999, [ABNT \(1999\)](#), como "Instrumento instalado em um conduto fechado, que consiste em um elemento móvel acionado diretamente pelo fluxo da água, cujo movimento é transmitido por meios mecânicos ou outros, ao dispositivo indicador que totalizam o volume".

O primeiro histórico de invenção dos medidores a turbina data de 1790, quando foi publicado, por Benjamin G. Hoffman, na Alemanha, um material descrevendo um medidor de fluxo desenvolvido por Reinhard Woltman para a medição de fluxo de ar e água em sistema aberto. Consistindo em uma roda d'água leve operada por uma correnteza, estando no seu eixo, conectados um contador e um totalizador de giros, o que permitia calcular o fluxo a partir das rotações obtidas em um período. Tal medidor foi apresentado na [Figura 2.3](#).

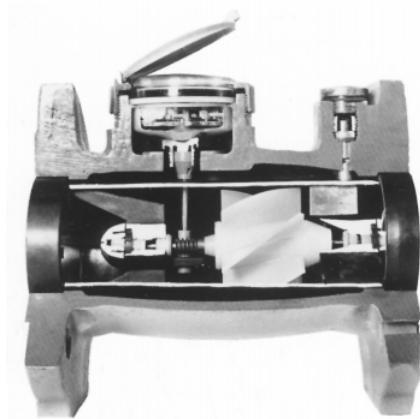
Figura 2.3 – Medidor Woltmann originalmente desenvolvido para fluxos em sistemas abertos.



Fonte: [A.W.W.A. \(2012\)](#).

O medidor em questão, por sua vez, passou por modificações para que pudesse ser aplicado em fluxos de água fechados, conforme apresentado na [Figura 2.4](#), e teve sua produção iniciada em 1865. Os medidores Woltman não possuem câmara e são tidos como medidores de jato único, em que o fluxo passa no sentido da hélice, e apresentam boa acurácia de medição, e podem ser do tipo horizontal ou vertical, ou turbina. ([SILVA, 2008](#)).

Figura 2.4 – Medidor Woltmann em corte após modificação para fluxos fechados.



Fonte: [A.W.W.A. \(2012\)](#).

Por fim, têm-se os medidores multijato, que foram desenvolvidos em 1867. Tais equipamentos aplicam o uso da medição por inferência. Como descrito em [A.W.W.A. \(2012\)](#), "Aberturas tangenciais na câmara direcionam o fluxo de água por um rotor de múltiplas pás. A saída é a velocidade do rotor que é proporcional a quantidade de água fluindo pela câmara de medição". Estes elementos podem ser observados na [Figura 2.5](#).

Figura 2.5 – Medidor multijato em corte permitindo visualizar fendas de direcionamento e o rotor.



Fonte: [A.W.W.A. \(2012\)](#).

c. Medidores eletrônicos de consumo

Nesta categoria ainda estão presentes medidores com partes móveis, os quais permitem a leitura de seus valores a partir de saídas eletrônicas. Sendo um dos meios para gerar tal sinal, acoplar-se um ímã ao eixo da parte móvel, que por sua vez aciona uma chave, como um reed switch, ou um sensor de efeito hall. Então, a partir dos pulsos gerados pelo chaveamento causado pelo movimento do ímã, pode-se calcular a velocidade de escoamento do fluido, e por consequência a vazão. ([LAO INDÚSTRIA, 2010](#)).

Porém, os hidrômetros com partes móveis apresentam perda de precisão ao longo do tempo devido acúmulo de materiais nas superfícies móveis, bem como pelo desgaste gerado pela fricção tanto da água, quanto dos elementos móveis ([CRAINIC, 2012b](#); [BRASIL, 2018](#)). Em vista disso foram desenvolvidos outros métodos para a medição sem o emprego de partes móveis, que por sua vez utilizam-se de princípios eletromagnéticos, sonoros e térmicos ([ABDULLAHI et al., 2018](#); [CRAINIC, 2012b](#)).

O primeiro medidor eletromagnético foi introduzido pela empresa Krohne Messtechnik GmbH, em 1952. Tal medidor se baseia na Lei de Faraday, que estudou o efeito do escoamento de um fluido sobre um campo magnético induzido por dois eletrodos, para, a partir disto, calcular a vazão do fluido, como descrito a seguir. Um medidor de vazão eletromagnético é apresentado na [Figura 2.6](#).

Figura 2.6 – Hidrômetro eletromagnético empregado comercialmente.



Fonte: Premier Control Technologies Ltd (2018).

"Quando um líquido se movimenta em um campo magnético, se o campo magnético é perpendicular a isolação elétrica do duto de escoamento do líquido, e a condutividade elétrica do líquido não é muito baixa, então, a tensão entre os eletrodos montados na parede do duto pode ser medida, esta tensão é proporcional a densidade de fluxo magnético, a velocidade média do líquido e a distância entre os dois eletrodos. Deste modo, a velocidade média do líquido pode ser mensurada, e a vazão no duto obtida"(YUMING; ZHIQIANG, 2009)

Já em 1958, foi introduzido o primeiro medidor ultrassônico, entretanto, voltado para aplicações medicinais que visavam medir o fluxo em um vaso sanguíneo (HERRICK; ANDERSON, 1959). Este medidor passou por modificações, para que, em 1963, fosse apresentado como um equipamento para aplicações industriais(CRAINIC, 2012b). Existem hoje três principais metodologias de medição de vazão de fluídos baseadas em ultrassom, a de Tempo Transitório, Doppler e Correlação de Sinais. Todos eles possuem como método a medição da velocidade de propagação da onda pelo fluído, pela qual se calcula a vazão (REYES; ACEVEDO, 2010). Um hidrômetro ultrassônico é apresentado na Figura 2.7, e possui aplicações desde medições residenciais até industriais (ARAD, 2018).

Figura 2.7 – Hidrômetro ultrassônico empregado comercialmente.

Fonte: [Pase Hidrometria \(2018\)](#).

Dentre as vantagens do emprego dos medidores ultrassônicos ou eletromagnéticos estão a grande precisão, possibilidade de realizar a medição separadamente em dois sentidos, e a inexistência de partes móveis ([RAJITA; MANDAL, 2016](#); [ARAD, 2018](#)). Sem contar ainda com o fato de que em caso de fluxo de ar o mesmo não será aquisitionado pelo equipamento, dadas as diferenças do meio de condução da onda (mecânica ou eletromagnética) neste meio, sendo interessante para o consumidor que deixa de ser tarifado quando ocorre passagem de ar.

2.3 Redes de comunicação aplicáveis a sistemas de monitoramento remotos

Os sistemas de comunicação são fundamentais para o funcionamento da infraestrutura de medição automatizada, a fim de permitir o tráfego de informações entre dispositivos, entre dispositivos e centrais de controle e usuários da informação. Para isto, diferentes redes de comunicação, tais como rede celular, ZigBee, Wi-Fi, LoRa, podem ser empregadas, atuando sobre diferentes protocolos de comunicação, como HTTP, HTTPS, TCP/IP, MQTT.

Dentre as diferentes tecnologias que podem ser aplicadas, deve-se optar por aquelas que atendam às necessidades de largura de banda e volume de dados, consumo de energia, alcance, e também, cobertura e custo de utilização, quando se emprega redes como Celular e SigFox, as quais dependem de empresas operadoras. E também considerando se já existe infraestrutura para suportar a utilização da tecnologia, como cabeamento, e antenas. Podem-se citar diversas redes a serem empregadas em cidades inteligentes, que utilizam

diferentes meios físicos, como PLC (Power Line Communication), Wi-Fi, LoRa, GSM ([KABALCI, 2016](#)).

Uma rede cabeada exige, usualmente, construção de estrutura adequada, para permitir a conexão entre cada equipamento de rede, aumentando a complexidade da estrutura física, de acordo com quantidade de dispositivos conectados. Deste modo, a inserção da rede cabeada em locais com estrutura ainda não preparada pode representar altos custos, abrangendo desde cabos até adaptação dos locais para sua acomodação. Já as redes sem fios apresentam maior flexibilidade de montagem e de alterações, permitindo que equipamentos sejam instalados, ou tenham seus locais alterados, sem a necessidade de alteração na estrutura física da rede, desde que estejam dentro da área de cobertura. Entretanto, tais redes apresentam maiores instabilidades, maior incidência de interferências sobre a rede, e da rede sobre outros equipamentos sensíveis, bem como menores taxas de transmissão quando comparadas a redes cabeadas ([WARKENTIN; BENEDITO, 2015](#)).

Serão apresentadas a seguir as redes aplicáveis a sistemas de monitoramento remoto, com o intuito de verificar quais delas são aplicáveis ao projeto, pensando em tráfego de dados, estrutura já disponível, custos de implementação e utilização, bem como facilidade e praticidade de implementação.

2.3.1 Redes Cabeadas

a. Ethernet

A rede Ethernet teve seu desenvolvimento iniciado no ano de 1972, com o intuito de conectar estações de trabalho, servidores e outros dispositivos periféricos, empregando um barramento de conexão comum ([SOMMER et al., 2010](#)), sendo padronizada como IEEE 802.3. A qual permite a utilização de diferentes meios físicos de conexão entre equipamentos, tais como cabo coaxial, par trançado e fibra ótica ([BAHL et al., 2016](#)).

Ao longo do desenvolvimento da rede, as velocidades de transmissão evoluíram, partindo de 2,94 *Mbps* e chegando a 10 *Gbps*. Além disso, a rede Ethernet pode ser aplicada tanto em ambientes industriais, com roteamentos de alta complexidade, bem como em ambientes residenciais, com aplicações totalmente plug-and-play, e também permite a interconexão com redes sem fios, como por exemplo baseadas no padrão IEEE 802.11 ([SOMMER et al., 2010](#)).

Na rede Ethernet, todos os computadores estão conectados em um mesmo barramento, podendo os equipamentos transmitirem a qualquer momento, desde que não haja nenhuma comunicação ocorrendo. Caso duas máquinas iniciem a transmissão no mesmo instante, ocorrerá uma colisão, neste caso, a comunicação é interrompida, e retomada pelas máquinas em um tempo aleatório após a colisão ([CCM, 2017](#)). Para um bom funcionamento deste tipo de rede, e redução das colisões, empregam-se Switches, que conseguem

identificar em qual porta está conectado cada equipamento, e então, quando um pacote é recebido, consegue direcioná-lo apenas para o equipamento que deve escutar, reduzindo assim a chance de colisões ocorrerem (CCM, 2017).

b. PLC

Com o intuito de eliminar a necessidade de novos cabeamentos para criar uma rede de comunicação de longo alcance, surge a tecnologia de comunicação PLC, *Power Line Communication*, traduzindo para o português: Comunicação Através de Linhas de Potência. Esta rede utiliza a rede pré-existente de distribuição de energia elétrica, ou seja, compartilha o mesmo meio físico utilizado para distribuição de eletricidade, desde a geração até o ponto de consumo (RABIE, 2019), o que elimina necessidade de instalação de novos meios físicos, como cabos e antenas (IKPEHAI; ADEBISI; KHAREL, 2016).

A tecnologia PLC pode também ser aplicada além da rede de distribuição, por exemplo, dentro de uma residência, utilizando-se do cabeamento elétrico interno como meio físico para a rede, que além da vantagem de já ter o meio físico distribuído por toda a edificação, possui diversos pontos de conexão em todos os cômodos (LIN et al., 2002). O autor Rabie (2019), além das vantagens anteriores, ainda enumera outras, como a possibilidade de atingir locais de difícil acesso através de redes sem fios, como estruturas subterrâneas, além de evitar interferências eletromagnéticas em equipamentos sensíveis. O autor também afirma ser uma das redes mais populares dos desenvolvedores de sistemas voltados a cidades inteligentes, dada a grande infraestrutura disponível e pelo fato de ser uma tecnologia *true-grid*.

Diferentes usos podem ser empregados a esta tecnologia, como por exemplo, comunicação com smart meters de energia elétrica (NAZMUDEEN; WAN; BUHARI, 2016), já Sittoni et al. (2015) apresenta a tecnologia PLC aplicada ao sistema de iluminação pública visando a redução de consumo de eletricidade, e na comunicação entre unidades geradoras e subestações (UNSAI; YALCINOZ, 2015). Finalmente, cita-se a possibilidade de acesso à internet através da rede PLC, sendo que a fabricante TP-Link já disponibiliza para o mercado repetidores de Wi-Fi residenciais, que utilizam a rede PLC (TP-LINKS, 2019).

A tecnologia PLC possui variados padrões de transmissão como o NB-PLC (Narrowband PLC) e BB-PLC (Broadband PLC). A comunicação Narrowband alcança velocidades que variam de 1 a 10 *kbps*, atingindo distâncias na faixa de 150 *km*. Já o BB-PLC alcança velocidades maiores, sob a pena de redução da cobertura, trabalhando com taxas de dados que podem atingir até 200 *Mbps*, em distâncias de aproximadamente 1,5 *km* (KABALCI, 2016).

Esta rede também poderia ser empregada aos medidores eletrônicos de consumo de água, integrando-o por exemplo, com um medidor inteligente de eletricidade de modo

indireto, em que o sinal é coletado pelo medidor de consumo de água, e enviado para o medidor de energia elétrica via determinado meio de comunicação, e por sua vez tem seu sinal enviado a rede, a partir da conexão PLC do medidor de energia elétrica.

2.3.2 Redes sem fios

a. Wi-Fi

A tecnologia Wi-Fi, que significa Wireless Fidelity, é baseada no protocolo de comunicação IEEE 802.11, e permite a comunicação entre dispositivos e a internet sem a necessidade de fios, e é hoje uma das redes mais comuns de comunicação sem fios, e o principal meio de acesso ao tráfego de dados na internet ([WIFI ALLIANCE, 2020b](#)). Tal rede opera nas bandas de radiofrequência de 2.4GHz , 5GHz , e recentemente nas bandas de 6GHz , e 60GHz , com diferentes técnicas de modulação, as quais permitem velocidades maiores de comunicação ([WIFI ALLIANCE, 2019](#)).

O Wi-Fi foi criado inicialmente para taxas de transmissão na ordem de 1Mbps e 2Mbps , entretanto com a evolução dos protocolos e da tecnologia embarcada na transmissão, velocidades de 300Mbps e 600Mbps foram alcançadas e difundidas em larga escala, operando nas bandas de 2.4GHz , 5GHz ([HIERTZ et al., 2010](#)). Desse modo, já estão disponíveis no mercado, equipamentos compatíveis com o padrão das bandas 6GHz e 60GHz , que disponibilizam velocidades de comunicação na ordem de dezenas de Gigabits por segundo ([WIFI ALLIANCE, 2020a](#)).

Nesta rede, existem dois tipos de dispositivos, os pontos de acesso e os dispositivos clientes. Montada em topologia estrela, todos os clientes se conectam ao ponto de acesso, que por sua vez permite tanto a troca de informação entre os dispositivos Wi-Fi, como pode permitir a comunicação com outras redes de comunicação com fios, como a Ethernet. Esta última pode estar conectada à Internet e prover aos dispositivos sem fios acesso ao mundo externo ([NASCIMENTO et al., 2015](#); [RABUSKE, 2017](#)). Contudo, ao se desenvolver uma solução que utilize esta rede de comunicação, deve-se cuidar pelo fato de esta rede depender de elevado consumo elétrico, devendo o dispositivo estar conectado à rede elétrica, ou então, trabalhar com baixas taxas de transmissão de dados ([RABUSKE, 2017](#)).

b. LoRaWAN

O protocolo LoRaWAN foi desenvolvido com o intuito de cobrir grandes áreas, com um mínimo consumo de energia, sendo a origem do nome uma compressão do termo Long Range. Permite um raio de alcance que pode atingir até 15Km , porém quando tratada a questão da taxa de dados, ocorre limitação na faixa de 300bps a 50kbps . O protocolo é mantido por uma organização sem fins lucrativos, a LoRa Alliance, que é composta

por diversas empresas de desenvolvimento e fabricação de hardware e software para IoT (SEMTECH, 2020).

A modulação de rádio frequência utilizada é chamada apenas de LoRa e foi desenvolvida pela Semtech, podendo ocorrer em modo dispositivo a dispositivo (P2P – Point to Point), e opera em uma faixa de frequência não licenciada, o que significa que pode ser utilizada sem que ocorra licenciamento prévio junto às autoridades competentes. No Brasil, esta faixa de frequências está compreendida entre 915 MHz e 928 MHz, e a autoridade competente é a Anatel (LORA ALLIANCE, 2019).

Porém, a comunicação P2P não permite conexão direta à internet, impedindo um acesso fácil aos dados por outros dispositivos. Neste caso, faz-se necessário utilizar um gateway LoRaWAN, que recebe os pacotes dos dispositivos, e os replica para aplicações online. Este gateway é responsável, por receber os pacotes e replicar para aplicações que os devem tratar e armazenar. Para a utilização desta rede, seria necessário então criar uma estrutura de gateways para permitir a recepção dos dados, e então realizar a instalação dos medidores inteligentes.

Na literatura de (RABUSKE, 2017), afirma-se que a fim de reduzir o risco de colisão de dados, o protocolo LoRaWAN emprega diferentes taxas de transmissão de dados (*data rates*), que são obtidos através da combinação entre diferentes larguras de banda e fatores de espelhamento espectral. No entanto, variar o *data rate* altera também o alcance da comunicação e o tamanho máximo do pacote de dados a ser enviado (LORA ALLIANCE, 2019). Além de controlar o tráfego na rede, o protocolo LoRaWAN agrega camadas de segurança e criptografia nos dados, através de metodologias de ativação de dispositivos e compartilhamento de chaves (SEMTECH, 2020).

2.3.3 Comparativo entre as redes

Na Tabela 2.1, é apresentado um comparativo entre as redes, relacionando meios físicos empregados, alcance, taxa de dados e gasto energético, a qual foi elaborada a partir dos dados apresentados anteriormente.

Tabela 2.1 – Tabela comparativa entre redes de comunicação aplicáveis ao projeto.

Protocolo	Meio Físico	Alcance	Taxa de dados	Gasto energético
Ethernet	Par trançado / Fibra óptica	500 m / 2 Km	1 Gbps / 10 Gbps	Alto
PLC	Rede elétrica	150 Km	10 Kbps	Baixo
Wi-Fi (IEEE 802.11)	Rádio Frequência	50 m	>10 Gbps	Alto
LoRaWAN	Rádio Frequência	15 Km	50 Kbps	Baixo

Fonte: Autoria própria.

Dada a necessidade de implementação de um meio físico para a utilização, a rede Ethernet se torna menos interessante para o desenvolvimento de um medidor automático

e remoto de consumo de água, uma vez que a instalação do cabeamento é algo custoso, devendo-se tanto ao custo com material, quanto ao custo com mão de obra especializada.

As outras redes possuem mais vantagens, por já possuírem seu meio físico disponível. Entretanto, no caso da rede PLC, seria necessária a integração com a rede de energia elétrica, o que aumentaria a quantidade de componentes a serem integrados ao projeto, dificultando o processo de desenvolvimento e prova de conceitos e sendo necessário um Gateway ou concentrador para receber os dados e replicar para uma aplicação na internet.

Já as redes sem fios se tornam as principais candidatas para a utilização, por não necessitarem de estrutura física a ser criada. Em um cenário que estivesse disponível um Gateway LoRaWAN, certamente ela seria a escolha, dado seu baixo consumo de energia, o que torna possível alimentar o medidor até mesmo com uma bateria, em caso extremo, auxiliada por painel solar, aliado ao longo alcance. E mesmo apenas permitindo pequenos pacotes de dados a baixas velocidades, atenderia ao volume de dados gerado pelo medidor.

Deste modo, a melhor opção será a utilização da rede Wi-Fi (IEEE 802.11), em função de sua grande disponibilidade e integração direta com a Internet, que permite aos dados serem coletados por um microcontrolador e enviados diretamente a uma aplicação on-line. Além disso, mais um facilitador seria a disponibilidade de microcontroladores que já possuem a tecnologia Wi-Fi integrada, como, por exemplo, a série ESP8266-EX.

2.4 Trabalhos relacionados e contribuições

Na literatura, diversos trabalhos foram publicados com o intuito de realizar a medição de consumo de água através de medidores eletrônicos e detectar a ocorrência de vazamentos. No trabalho de [Farah e Shahrour \(2017\)](#) é apresentado um estudo de caso para a detecção de vazamentos no sistema de distribuição e em pontos consumidores finais de um *campus* da Universidade de Lille, localizada no norte da França. O sistema de medição apresentado no trabalho é composto por 93 medidores automáticos de consumo de água, que mensuram o volume de água consumido a cada hora e o transmitem para um concentrador utilizando-se uma rede sem fios, permitindo gerar padrões de consumo para as edificações da universidade, em que crescimentos anormais de consumo poderiam indicar a ocorrência de vazamentos. Porém, devido a rotina diferente de cada um dos edifícios da Universidade em questão, foi necessário o emprego da técnica do mínimo consumo noturno, em que se monitora o consumo de água no período da madrugada, quando é usual que o consumo seja mínimo. A partir de tal técnica, o autor mostra que é possível identificar a ocorrência de um vazamento em um edifício específico, e também, a partir de dados históricos, calcular o consumo previsto para dias úteis e não úteis, permitindo a detecção do vazamento a partir do aumento no volume total consumido.

O trabalho de [Schultz, Javey e Sorokina \(2018\)](#), apresenta uma cidade que teve seus medidores tradicionais de consumo de água substituídos por medidores automáticos com o intuito de informar aos consumidores sobre seus padrões de utilização de água e auxiliá-los na detecção de vazamentos. Para o acesso às informações um portal on-line foi disponibilizado, que apresenta informações sobre o consumo da residência, históricos e padrões de consumo. Além disso, o sistema também monitora a ocorrência de potenciais vazamentos, buscando a característica de um consumo contínuo de aproximadamente 30 litros por hora, em um período de 24 h. A partir da detecção da ocorrência do potencial vazamento, alertas são enviados ao consumidor através de mensagens de texto ou acesso direto pelo portal. Os resultados apresentados pelo trabalho mostram que consumidores que aderiram a utilização do portal reduziram a taxa de incidência de vazamentos em suas residências em 50%, e que o tempo até a correção do vazamento apresentou queda de 34%. No entanto, o sistema implementado apresenta limitação com relação ao mínimo volume para a detecção do vazamento, impedindo a detecção de defeitos hidráulicos de pequenas proporções, como torneiras com problemas de vedação.

Estão disponíveis também na literatura trabalhos que apresentam metodologias a serem empregadas para otimizar a detecção de potenciais vazamentos no lado do sistema de distribuição. Em [Monteiro, Salvagnini e Nunes \(2017\)](#), é apresentado o desenvolvimento de um geofone digital, capaz de captar sons de vazamentos não visíveis e em seguida, a partir do processamento digital dos sinais sonoros utilizando-se a transformada de Fourier, detectar a ocorrência de ruídos característicos de vazamentos. Com tal metodologia, se faz possível identificar os locais de perdas de água sem total dependência da audição de um operador, de modo a reduzir o tempo para a detecção da ocorrência de um vazamento. Entretanto, tal método ainda exige que a rede inteira seja varrida, sendo necessárias metodologias auxiliares para reduzir a área de varredura, aumentando sua eficácia.

Já os autores [Alkassseh et al. \(2013\)](#), apresentam uma metodologia para estimar o volume de água perdido em vazamentos em um bairro cujo o sistema de distribuição possa ser ilhado, de modo que nenhuma outra localidade dependa de fluxo de água advindo da região limitada, e que o ponto de alimentação do mesmo seja único e permita a medição do volume de água recebido, antes do envio para o consumidor. Então, para estimar o volume de água perdido no sistema de distribuição de tal setor, foram instalados medidores eletrônicos em unidades consumidoras aleatórias da região, a fim de gerar dados para o período entre 0h e 4h, em que é usual que o volume de água consumido seja mínimo. Então, a partir de tais dados, e também do volume total de água entregue a região durante a noite, aferido pelo medidor posicionado no ponto de entrada do setor, aliados a dados a dados como pressão ao longo da rede, materiais construtivos e idade do sistema de distribuição, realiza-se a estimativa do volume de água que foi realmente consumido e do volume de água que foi perdido, sem que a rede como um todo precise ser monitorada. No entanto, tal sistema requer setores de monitoramento com uma extensão de rede menor que 15km,

e também não permite identificar a ocorrência de vazamentos em pontos consumidores.

Por sua vez, o trabalho de [Hsia, Hsu e Chang \(2012\)](#) apresenta o desenvolvimento de um medidor automático de consumo de água de baixo consumo energético. Tal equipamento é baseado em um hidrômetro tradicional adaptado de modo que as posições de seus ponteiros possam ser aferidas a partir de um circuito eletrônico, deste modo, não é necessário que o circuito de leitura fique constantemente ativado, reduzindo, por consequência o consumo energético. A leitura de tal medidor é disparada através da rede de comunicação GSM/GPRS que é utilizada para enviar uma requisição de leitura ao medidor e para a transmissão do volume de água aferido. O trabalho apresenta a acurácia obtida pelo medidor desenvolvido em mensurar corretamente o consumo de água com acurácia de leitura de 95%, e afirma que tal medidor pode ser empregado em sistemas de distribuição de água para a cercar pontos com provável ocorrência de vazamentos quando ocorrem diferenças entre o volume de água enviado para uma determinada região, e o volume de água nela consumido. Contudo, tal medidor poderia também ser empregado para a detecção de vazamentos em consumidores finais, aliando-se os dados pelo medidor a técnicas como a do mínimo consumo noturno.

Não obstante, o texto de [Bermúdez et al. \(2018\)](#), apresenta simulações para a detecção de vazamentos ao longo da rede baseados na variação da pressão de entrega da água. Em tal trabalho, utilizando-se o software MATLAB®, são realizadas simulações de sistemas de distribuição de água reais com monitoramento de pressão e vazão ao longo de toda a rede. Então, quando inseridos pontos de vazamentos de água, é possível observar a variação da pressão ao longo da rede, e a possibilidade de utilizá-la como indicador para a presença de vazamentos.

Assim, o sistema proposto neste trabalho, tendo como sua principal aplicação consumidores finais, poderá contribuir com os trabalhos apresentados anteriormente ao permitir identificar vazamentos ocorrendo dentro das unidades consumidoras, empregando para isso os conceitos de aumento do consumo médio de água e de consumo mínimo noturno apresentado em [Farah e Shahrour \(2017\)](#) e em [Alkassseh et al. \(2013\)](#). Além disso, por ser baseado em conexão Wireless IEEE 802.11 b/g/n, irá permitir maior flexibilidade para a escolha do provedor do serviço de internet, dado que não será dependente de operadoras de rede celular. Por fim, a partir da capacidade de coletar dados de pressão, o sistema desenvolvido poderá também gerar dados para identificar a ocorrência de vazamentos nos sistemas de distribuição, e otimizar a varredura do sistema de distribuição utilizando-se um geofone para a detecção do ponto exato do vazamento, dado que se saberá da provável ocorrência de um vazamento em uma determinada área.

2.5 Conclusão Parcial

Demonstrou-se neste capítulo o funcionamento simplificado de um sistema de distribuição de água, bem como de alguns indicadores de distribuição e consumo que são empregados para garantir que todos os consumidores sejam atendidos de maneira constante e utilizados para tarifação e planejamento do sistema. Pôde-se também observar a evolução dos medidores de consumo de água, os hidrômetros, que ao longo dos anos passaram por diversas alterações, evoluindo de dispositivos puramente mecânicos, ainda em uso, até dispositivos eletrônicos e de grande precisão.

Além dos sensores, para o funcionamento do medidor proposto, faz-se necessário o emprego de redes de comunicação e de protocolos para o tráfego dos dados gerados pelo medidor até um servidor. Demonstrou-se que as redes cabeadas, mesmo eficientes e estáveis, podem se tornar um impeditivo para o medidor, por tornar necessária a criação de infraestrutura física para conectar o equipamento aos dispositivos de rede.

Assim, as redes sem fios são as mais adequadas para a utilização no projeto dada a praticidade de instalação. Dentre as demonstradas, a escolhida seria a rede LoRaWAN, devido ao seu longo alcance e baixo consumo energético, entretanto, o cenário atual não permitiria a utilização de tal rede por esta necessitar de infraestrutura ainda em fase de implementação, o que leva a escolha da rede Wi-Fi para a implementação do medidor, uma vez que esta rede possui grande disponibilidade e é usual que esteja diretamente conectada à internet.

3 Materiais e métodos

Para o desenvolvimento de um medidor inteligente de consumo de água, diversas tecnologias precisam ser integradas, a fim de permitir a coleta dos dados relativos ao consumo e distribuição, bem como o envio e a recepção dos dados em um servidor remoto. Para tanto, faz-se necessário o emprego de sensores de vazão e pressão, microcontroladores para a leitura de tais sensores, módulos de rede que permitam a leitura remota das informações, e o desenvolvimento de softwares para a recepção dos dados. Nesta seção serão apresentados microcontrolador, sensores e tecnologias de software que foram empregadas no desenvolvimento do sistema.

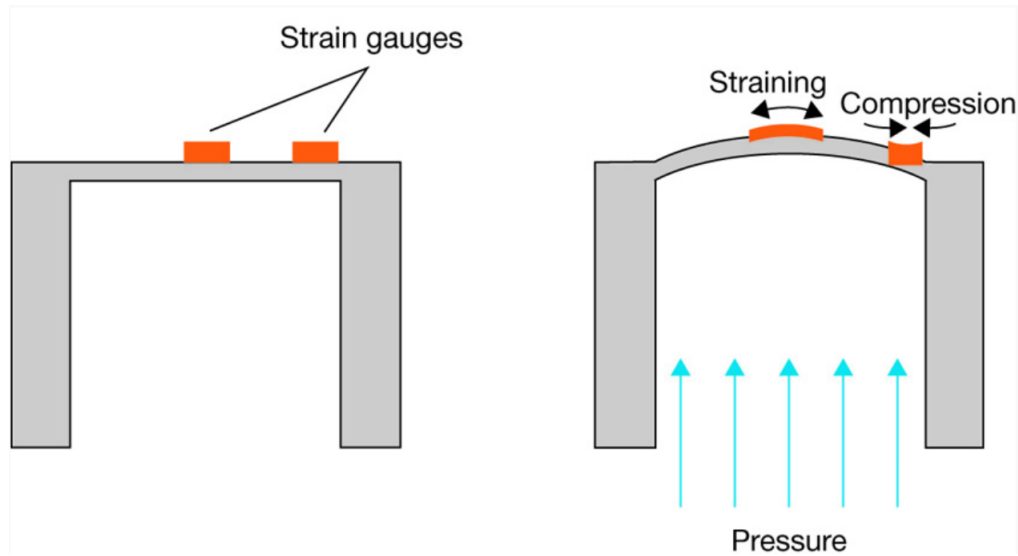
3.1 Sensores

Dado o intuito deste trabalho, de desenvolver um sistema para coleta de dados relativos ao consumo de água para otimização de consumo e detecção de vazamentos, serão empregados sensores que possam coletar as variáveis inerentes ao sistema, sendo eles, sensores de pressão e sensores de vazão.

3.1.1 Sensores de pressão

Como o próprio nome diz, este sensor é responsável por realizar a medição da força exercida por um fluido sobre as paredes do recipiente que o contém, sendo, no caso do trabalho, a água, o fluido, e as tubulações das redes de distribuição e consumo, o recipiente do fluido. Nestes sensores, é usual a presença de uma estrutura mecânica composta por um corpo principal e estável, e um secundário, que sofre deformações de acordo com a pressão aplicada. No caso de um sensor eletrônico, o corpo que sofre a deformação é chamado diafragma (DERENCIO, 2018; SMAR, 2019).

Sobre tal diafragma, quando o sensor é do tipo resistivo, são posicionados elementos resistivos sensíveis à extensão e compressão, deste modo, com a variação do formato da superfície, o formato do elemento varia e por consequência sua resistência também, permitindo assim medir eletricamente a pressão. Na Figura 3.1, fica clara disposição dos elementos que sofrem a deformação e permitem medir a pressão, sendo usual o emprego dos elementos resistivos conectados em ponte de Wheatstone, a fim de melhorar a sensibilidade, ajuste de zero e compensação de temperatura.(DERENCIO, 2016).

Figura 3.1 – Elementos resistivos sensíveis a deformação sobre diafragma.

Fonte: [Derencio \(2016\)](#).

Tais elementos resistivos podem ser inseridos sobre o diafragma por diferentes maneiras. Na tecnologia Thin-film (filme fino), os elementos resistivos são depositados sobre a superfície através da deposição de elementos por vapor, segundo [Derencio \(2018\)](#) "Em um "processo thin-film", estes medidores de força estão ligados a um elemento base (por exemplo, metálico) e estruturados (pulverização com fotolitografia e gravura associada)". Ou então colocados sobre o diafragma através de técnicas de impressão de filme espesso (Thick-film), e em seguida submetidos a alta temperatura. Em ambos casos, a metodologia de medição é baseada na variação da resistência dos materiais da superfície do diafragma ([SMAR, 2019](#)).

No trabalho, será empregado um sensor de pressão do tipo resistivo de filme espesso, modelo PS-10b fabricado pela Fueltech ([FUELTECH, 2020](#)). Este sensor trabalha a três fios, ou seja, dois para a alimentação, e um para a saída, e tem como especificação uma tensão contínua de alimentação de 5 V, e uma saída proporcional a pressão entre 0,5 a 4,5 V, operando na faixa de 0 a 122 *m.c.a.* de pressão (0 a 1,2 MPa). Este sensor é apresentado na [Figura 3.2](#), e foi escolhido em função de seu baixo custo frente a outros sensores de mercado, uma vez que não seriam necessários, na primeira prototipagem, sensores de elevada precisão.

Figura 3.2 – Sensor de pressão PS-10b.

Fonte: Autoria própria.

3.1.2 Sensores de vazão

A vazão é definida por [Thomazini e Albuquerque \(2005\)](#) como: "a quantidade de líquidos, gases ou vapores, que passa em um determinado ponto, durante um certo período". A medição de tal propriedade pode apresentar diversos objetivos, como controlar o volume de um determinado material que é inserido em um processo, determinar o volume envasado de um material, ou mesmo, o volume de água utilizado em um processo, ou em um ponto consumidor como uma residência ou prédio comercial .

No início deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica que abordou , historicamente, tipos de hidrômetros, que podem ser tratados como transdutores que convertem a vazão de água no volume consumido pela instalação em um determinado período. Tais dispositivos possuem diferentes características construtivas e tipos de medição. Dentre eles, optou-se pelo sensor com metodologia de leitura baseada a turbina.

Os sensores de vazão por turbina possuem um conjunto de pás montadas em um eixo, que giram de acordo com o fluxo de água. Com um totalizador é possível então mensurar o volume circulado de água, ou mesmo a velocidade. Este totalizador pode ser tanto mecânico, como os observados em hidrômetros residenciais, ou também eletrônicos. Nesta última opção, uma das metodologias funcionamento consiste em posicionar um ímã sobre o eixo da turbina que ao girar atua sobre uma chave magnética, gerando um trem de pulsos que permite calcular o volume que circulou do fluido ([THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005](#); [MELEXIS, 2006](#)) .

Dentre os modelos disponíveis, optou-se pelo YF-B6 ([SEED TECHNOLOGY, 2020](#)), que assim como descrito anteriormente, possui uma turbina interna com um ímã permanente em seu rotor, que, ao girar, aciona uma chave de efeito Hall eletrônica, que por sua vez gera um sinal de saída pulsado. A partir deste sinal é possível contabilizar o volume circulado de água. Este sensor é apresentado na [Figura 3.3](#).

Tal sensor deve ser alimentado com uma tensão contínua de +5 V, com seu sinal de saída na mesma tensão de pico. A partir então, da contagem dos pulsos em um intervalo

Figura 3.3 – Sensor de vazão YF-B6.

Fonte: Autoria própria.

de tempo, é possível calcular a vazão e, por consequência, o volume de água que circulou, conforme apresentado na equação a seguir, em que Q é a vazão, e que W é o número de pulsos.

$$Q = W/6,6 \quad (3.1)$$

3.2 Microcontrolador

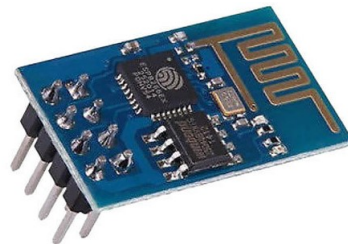
Um microcontrolador é definido por [Bannatyne e Viot \(1998\)](#) como "um único circuito integrado que contém os elementos necessários de um sistema de computador completo: CPU, memória, cristal oscilador, entradas e saídas". Pode ainda possuir outros periféricos, como interface serial e com outros protocolos de comunicação, timers, contadores, de modo a controlar via computador dispositivos externos, bem como realizar seu monitoramento ([MACKENZIE, 1998](#); [BANNATYNE](#); [VIOT, 1998](#)). As aplicações do microcontrolador são diversas, passando por sistemas de airbag e controle de motores, modems de internet, roteadores, videogames ([BANNATYNE](#); [VIOT, 1998](#)). E será empregado neste trabalho com a função de realizar a leitura dos sensores de pressão e vazão, converter os dados de variáveis elétricas para variáveis físicas, e realizar a transmissão de tais dados.

No cenário de desenvolvimento anteriormente exposto, definiu-se a utilização da rede sem fios Wi-Fi, no padrão IEEE 802.11 b/g/n, juntamente ao protocolo TCP/IP, como tecnologias de redes a serem empregadas na transmissão dos dados coletados. Para isto, é possível empregar microcontroladores que possuam conectividade a esta rede de forma nativa, como, por exemplo, os da série ESP8266EX, da Espressif®. Este microcontrolador apresenta baixo consumo de energia e foi desenvolvido especificamente para dispositivos móveis e para aplicações IoT, que demandem conectividade à rede Wi-Fi IEEE 802.11

b/g/n (ESPRESSIF, 2019a; ESPRESSIF, 2019b). Possui, além da interface Wi-Fi, os barramentos de comunicação já citados anteriormente, tais como UART, SPI e I²C (ESPRESSIF, 2019c).

Baseado neste microcontrolador, uma série de módulos que o embarcam foi desenvolvida, de modo a permitir seu emprego, em diversas áreas, que passam desde aplicações domésticas, dispositivos vestíveis, sistemas de monitoramento de crianças até controle Wi-Fi industrial. Dentre eles, optou-se por utilizar o *ESP12E*, que variam em formato de encapsulamento, sendo o primeiro fabricado no padrão DIP e o segundo em padrão SMD, e possuem diferentes quantidades de portas digitais, barramentos de comunicação e antenas (AI-THINKER INC, 2017). Os dispositivos são apresentados nas figuras [Figura 3.4](#) e [Figura 3.5](#), e pode-se observar a clara diferença entre ambos, mesmo sendo baseados no ESP8266EX.

Figura 3.4 – Módulo ESP01.



Fonte:FilipeFlop (2020).

Figura 3.5 – Módulo ESP12E.



Fonte:FilipeFlop (2019).

As características de ambos os módulos são apresentadas na [Tabela 3.1](#), e nela, pode-se observar que o ESP01 possui disponível uma menor quantidade de portas e barramentos de comunicação quando comparado ao ESP12E, bem como não está disponível o conversor analógico digital. Para uma utilização do ESP01 em projetos que demandem a utilização de

maior número de portas, ou mesmo de sensores ou módulos que necessitem de barramentos de comunicação, pode-se empregá-lo como apenas um transmissor Wi-Fi, em que um microcontrolador externo, como um ATMEGA ou PIC realiza a leitura dos sensores e comunicação com módulo, trata os dados e os transfere para que o ESP01 através de interface serial, a fim de que realize as tratativas de envio através da rede Wi-Fi. Já o módulo ESP12E, possui barramentos de comunicação como SPI e I²C, entradas digitais e conversor de sinal analógico, permitindo assim sua utilização junto a dispositivos que os demandem, sem a necessidade de outro microcontrolador para a aquisição dos dados.

Tabela 3.1 – Tabela comparativa entre ESP01 e ESP12E.

Característica	ESP01	ESP12E
Portas digitais	1	10
Barramento UART	1	1
Barramento SPI	-	1
Barramento I ² C.	-	1
Conversor Analógico Digital	-	10 bits
Faixa de tensão de alimentação (VDD)	3.0 a 3.6V	3.0 a 3.6V
Mínima tensão de alto	$0.75 * VDD$	$0.75 * VDD$

Fonte: [Ai-Thinker Inc \(2017\)](#).

Assim como no caso da série ATMEGA, que possui placas de desenvolvimento, a série ESP8266EX também possui placas de desenvolvimento, sendo uma delas o NodeMCU ESP12E, que possui todo o circuito necessário para o funcionamento do módulo ESP12E, também interface para programação via USB, e portas acessíveis por pinos no padrão DIP, o que permite utilização em protoboards e em placas de circuito impresso no padrão PTH. Este módulo é apresentado na figura [Figura 3.6](#). Além das características anteriormente descritas, o ESP8266EX também é compatível com a linguagem de programação Arduino, o que facilita o desenvolvimento do projeto por suas características e bibliotecas disponíveis para a transmissão dos dados via Wi-Fi, TCP/IP e HTTP.

Figura 3.6 – Placa de desenvolvimento NodeMCU ESP12E.



Fonte: Autoria própria.

3.3 Tecnologias de software

Diversas tecnologias de software foram empregadas no trabalho, atuando desde o endereçamento e encapsulamento de dados, até a sua recepção e processamento.

A primeira a ser citada é a pilha TCP/IP , acrônimos para *Transmission Control Protocol* e *Internet Protocol*, a qual foi empregada para permitir a comunicação entre o microcontrolador e o servidor através da Internet, sendo melhor descrita em [Cisco Systems \(2005\)](#) e [Marçura \(2019\)](#). Junto a pilha TCP/IP, atua também o protocolo HTTP, que consiste em um protocolo de requisições e respostas, sendo que as requisições são realizadas ao servidor por aquele que está interessado em receber ou enviar informações ([CHEN; CHENG, 2016](#); [MOZILLA, 2012](#)). Dentre o conjunto de requisições disponíveis no protocolo HTTP foi utilizada do tipo GET, em que o dado é enviado diretamente em uma URL, devido sua simplicidade de testes e utilização ([MOZILLA, 2012](#)).

Para a recepção e processamento das requisições HTTP, foi linguagem PHP, cujo nome significa *Hypertext Preprocessor* - Pré-processador de Hipertexto, na implementação de uma API. Após receber os dados, tal API os processa e realiza a persistência em um banco de dados ([DALL'OGGIO, 2015](#); [MELO, 2017](#)). O processo de inserção no banco de dados ocorria então a partir de comandos *SQL* contendo as informações a serem armazenadas, enviados por sua vez a um SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados), que tem como funcionalidade facilitar a geração, manipulação e o compartilhamento das informações com os usuários([DATE, 2004](#); [ELMASRI; NAVATHE., 2011](#)). Dentre os SGBDs disponíveis, optou-se pelo MariaDB ®.

Por fim, foi utilizada a linguagem Python para realizar o processamento das informações armazenadas a fim de detectar, a partir de características indicadoras, a ocorrência de vazamentos em pontos consumidores, devido sua grande disponibilidade de bibliotecas para processamento de dados e cálculos ([DEVMEDIA, 2020](#); [PYTHON, 2020](#)).

3.4 Conclusão parcial

Neste capítulo foram apresentados diversos dispositivos e tecnologias aplicáveis ao desenvolvimento de um medidor inteligente de consumo de água, demonstrando-se o funcionamento básico de um sistema de aquisição de dados e condicionamento de sinais, sensores aplicáveis para a leitura dos parâmetros de distribuição e consumo de água, bem como as tecnologias para a recepção dos dados por parte do servidor.

Demonstraram-se diferentes tecnologias para a medição de pressão, tanto analógicas como digitais, baseadas em diferentes elementos sensores, e escolheu-se para emprego no trabalho um dispositivo do tipo filme resistivo espesso. Já para o sensor de vazão, dentre os apresentados, optou-se por um medidor a turbina com sinal de saída pulsado proporcional ao volume de água que circulou por ele.

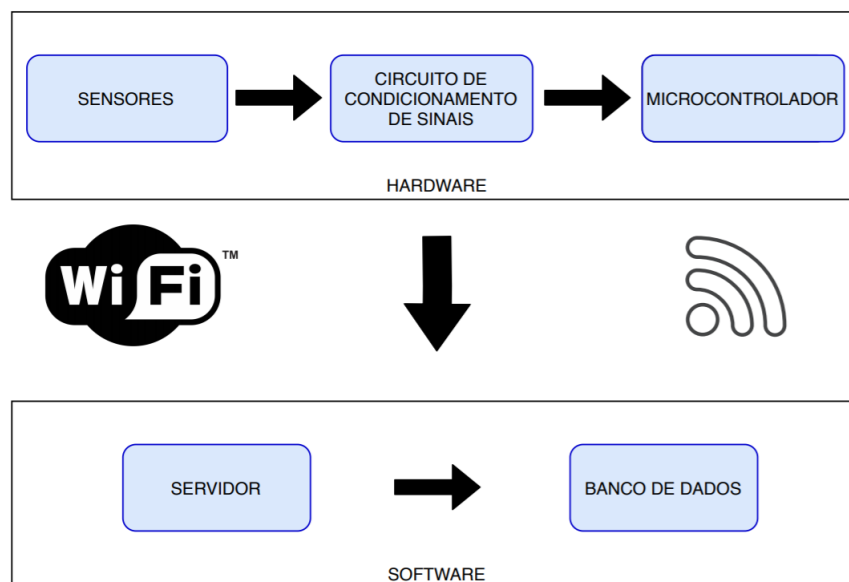
Além disso, foi apresentada a opção de se empregar um microcontrolador como dispositivo para a aquisição de dados, escolhendo-se, dentre os modelos, o ESP12E, que além de ser capaz de ler os sinais advindos dos sensores, também possui conectividade Wi-Fi para envio dos valores lidos a um servidor de armazenamento e processamento.

Para tanto, foram empregados protocolos de endereçamento de rede e tráfego de informações, optando-se pelos protocolos TCP/IP e HTTP, dadas as questões de simplificação do projeto e não necessidade de comunicação bidirecional, bem como um servidor que conterà um banco de dados controlado pelo SGBD MariaDB, e uma API para a recepção dos dados e inserção no banco, desenvolvida em linguagem PHP.

4 Proposta de medidor de consumo de água automático

Definidas as tecnologias a serem empregadas no sistema proposto, seu desenvolvimento foi dividido em três etapas: desenvolvimento de hardware, desenvolvimento de software e integração entre hardware e software, de modo que o medidor seguisse o diagrama de blocos apresentado na [Figura 4.1](#). No equipamento desenvolvido os sensores foram conectados ao microcontrolador para a aquisição dos sinais através de circuitos de condicionamento gerando os dados relativos ao consumo de água, por sua vez replicados através da rede Wi-Fi, com o emprego dos protocolos TCP/IP e HTTP, de modo que as informações chegassem ao servidor e fossem armazenadas.

Figura 4.1 – Diagrama de blocos do sistema medidor de consumo de água proposto.



Fonte: Autoria própria.

4.1 Desenvolvimento de hardware

4.1.1 Condicionamento de sinais

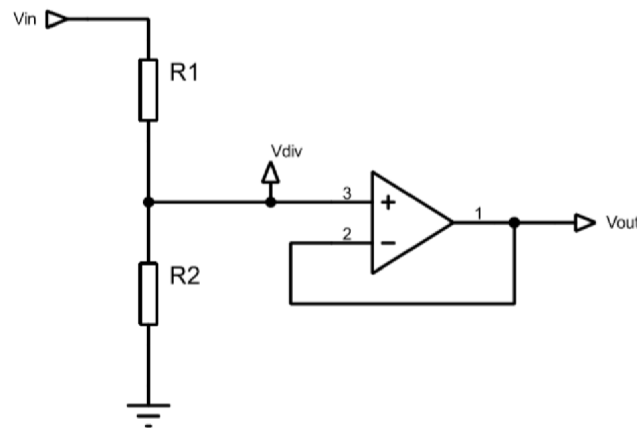
Como apresentado anteriormente, cada sensor possui uma característica de sinal de saída específica, podendo ser em tensão, corrente, frequência, que por sua vez podem ser emitidos em diversos níveis. Entretanto, as placas de aquisição de dados comerciais ou os microcontroladores não são necessariamente capazes de receber os sinais nas mesmas características do emitido pelo sensor, o que faz necessário condicionar os sinais antes que cheguem ao equipamento de aquisição ([NATIONAL INSTRUMENTS, 2019](#)).

O microcontrolador escolhido possui uma tensão máxima de operação de +3,3 V, tanto para as portas digitais quanto para a analógica, diferente dos sensores, que possuem tensões de saída fora da faixa suportada pelo microcontrolador. Para isto, foram empregadas técnicas de amplificação de sinais, e de ganho de corrente, de modo a garantir um bom acoplamento entre sensor e microcontrolador, evitando sobrecargas para ambos.

4.1.1.1 Sensor de pressão

Para o condicionamento do sinal analógico, foi empregado um divisor de tensão, conectado a um amplificador operacional em modo seguidor de tensão, conforme apresentado na [Figura 4.2](#). O amplificador operacional idealmente possui elevada impedância de entrada ([SEDRA; SMITH, 2007](#)), não interferindo no projeto do divisor de tensão. Além disso, este circuito também fornece um ganho de corrente, de modo que a corrente do sinal de saída do circuito seja drenada diretamente da fonte de alimentação, não circulando pelo sensor.

Figura 4.2 – Circuito de condicionamento do sinal de pressão.



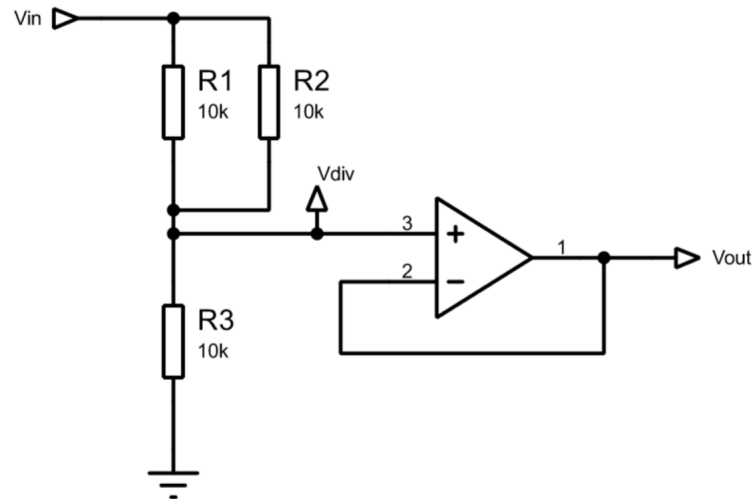
Fonte: Autoria própria.

Como se sabe da literatura de [Sedra e Smith \(2007\)](#) e do próprio nome do circuito seguidor de tensão, sua principal característica é replicar a tensão empregada em sua entrada para sua saída, porém, com ganho de corrente. Deste modo, a tensão que for aplicada à porta não inversora do amplificador operacional será obtida na saída do circuito. Assim faz-se necessário calcular o divisor de tensão de entrada a partir dos dados do sensor e dos limites de operação do microcontrolador, empregando-se o equacionamento de um divisor de tensão, como a seguir, sendo V_{in} o valor máximo de saída do sensor, e V_{div} o valor máximo que pode ser empregado no microcontrolador.

$$V_{div} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in} \quad (4.1)$$

Assumindo-se um valor de R_2 de $10k\Omega$, obtém-se o valor de $R_1 = 5,15k\Omega$. Dada a indisponibilidade de um resistor com este valor comercialmente, optou-se por empregar no circuito dois resistores de $10k\Omega$ em paralelo, resultando em $5k\Omega$. O circuito final de condicionamento dos sinais de pressão é apresentado na [Figura 4.3](#).

Figura 4.3 – Circuito que condicionamento do sinal analógico de pressão, sem a necessidade de fonte simétrica.

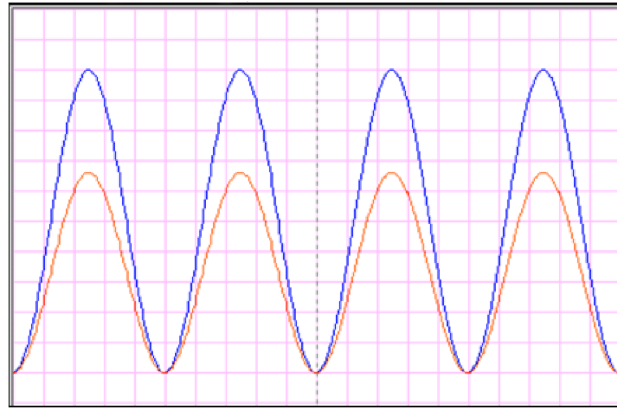


Fonte: Autoria própria.

A fim de validar os cálculos do projeto, empregou-se o software Proteus 8.6 para simular o circuito. Na simulação foi utilizado o amplificador operacional *LM324* que tem como característica não utilizar fonte simétrica para sua alimentação, a fim de atender ao requisito do projeto apresentado anteriormente. Os pontos de medição pelo simulador foram V_{in} e V_{out} .

Aplicou-se um sinal senoidal na entrada do circuito (V_{in}), sem componente negativa, de modo a simular as possíveis tensões geradas pelo sensor. Tal sinal possuía uma tensão de pico de $V_{p-in} = 5V$, obtendo-se na saída um sinal com $V_{p-out} = 3,3V$, também sem componente negativa. O resultado da simulação é apresentado na [Figura 4.4](#), na qual os sinais de entrada e saída são apresentados respectivamente nas cores azul e laranja, com uma escala de $0,5V/div$, podendo-se constatar que o sinal de saída mantém a mesma característica do sinal de entrada, porém, com um ganho que reduz sua intensidade, demonstrando que o circuito apresentou o funcionamento esperado.

Figura 4.4 – Circuito que condicionamento de sinal analógico sem a necessidade de fonte simétrica, para uma entrada em $V_{p-in} = 5V$ e $V_{p-out} = 3,3V$, respectivamente azul e laranja.



Fonte: Autoria própria.

4.1.1.2 Sensor de vazão

O circuito demonstrado no tópico anterior poderia ser empregado também para condicionar o sinal pulsado que é gerado pelo sensor de vazão, porém, devido a características do microcontrolador, houve um descasamento de impedâncias entre o divisor de tensão e o microcontrolador, gerando sinais fora dos níveis adequados para o microcontrolador. Para resolver tal situação, empregou-se ainda outra propriedade dos amplificadores operacionais, a propriedade da saturação.

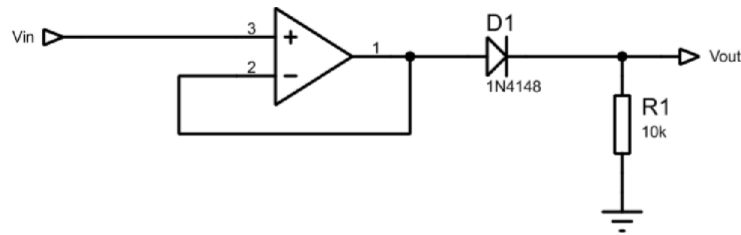
Tem-se na literatura de [Sedra e Smith \(2007\)](#) que a máxima tensão de saída de um amplificador operacional é limitada por sua tensão de alimentação, não sendo ainda capaz de fornecer totalmente a tensão de alimentação em sua saída, em decorrência das propriedades internas dos componentes de um amplificador operacional, que geram perdas, o que pode ser validado em testes em simuladores e testes de bancada. Mais uma vez optou-se pelo amplificador operacional *LM 324* devido a propriedades discutidas anteriormente.

Simulou-se então tal amplificador operacional, configurado como seguidor de tensão, e alimentado com uma tensão contínua de $5V$, aplicando-se a mesma tensão em sua entrada não inversora. Observou-se uma tensão de saída de $3,7V$, ou seja, uma queda de $1,3V$, conforme o esperado. De posse destes resultados, montou-se o circuito em bancada para simular a mesma condição, sendo obtida a mesma queda de tensão.

Dado que o nível de tensão ainda é elevado para o ESP12-E, empregou-se um diodo diretamente polarizado na saída amplificador operacional a fim de gerar uma queda de tensão de $0,7V$, conforme as propriedades deste elemento semi-condutor ([SEDRA; SMITH, 2007](#)). Deste modo, a tensão de pico do sinal pulsado foi rebaixada para $3V$, que

é suficiente para atingir o limiar de identificação de nível lógico alto em uma porta de entrada do microcontrolador escolhido para o projeto (ESPRESSIF, 2019b). O circuito resultante é então apresentado na Figura 4.5, em que se observa também um resistor de $10k\Omega$, empregado para garantir a polarização direta o diodo.

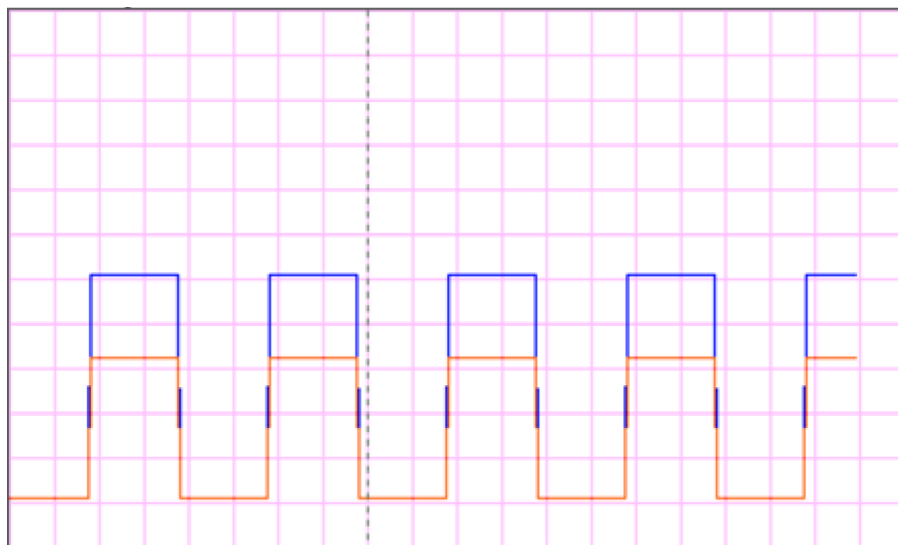
Figura 4.5 – Circuito para condicionamento de sinal pulsado.



Fonte: Autoria própria.

Simulou-se então circuito proposto anteriormente empregando-se, além do amplificador operacional, um diodo 1N4148, e um resistor de polarização. Na entrada não inversora foi aplicado um sinal pulsado, com $V_{p-in} = 5V$, obtendo-se na saída um sinal com o ganho esperado, com $V_{p-out} = 3,3V$, mantendo a característica do trem de pulso da entrada. O resultado da simulação é apresentado na Figura 4.6, em que o sinal de entrada V_{in} está na cor azul, e o sinal de saída V_{out} está na cor laranja, e pode-se observar a queda de tensão na saída, conforme o esperado. A escala empregada é de $1V/div$. Vale ressaltar que a alimentação do amplificador operacional foi mantida em $5V$ em tensão contínua.

Figura 4.6 – Resultado da simulação do circuito de condicionamento do sinal de vazão, para uma entrada $V_{p-in} = 5V$ e $V_{p-out} = 3,3V$, respectivamente azul e laranja.



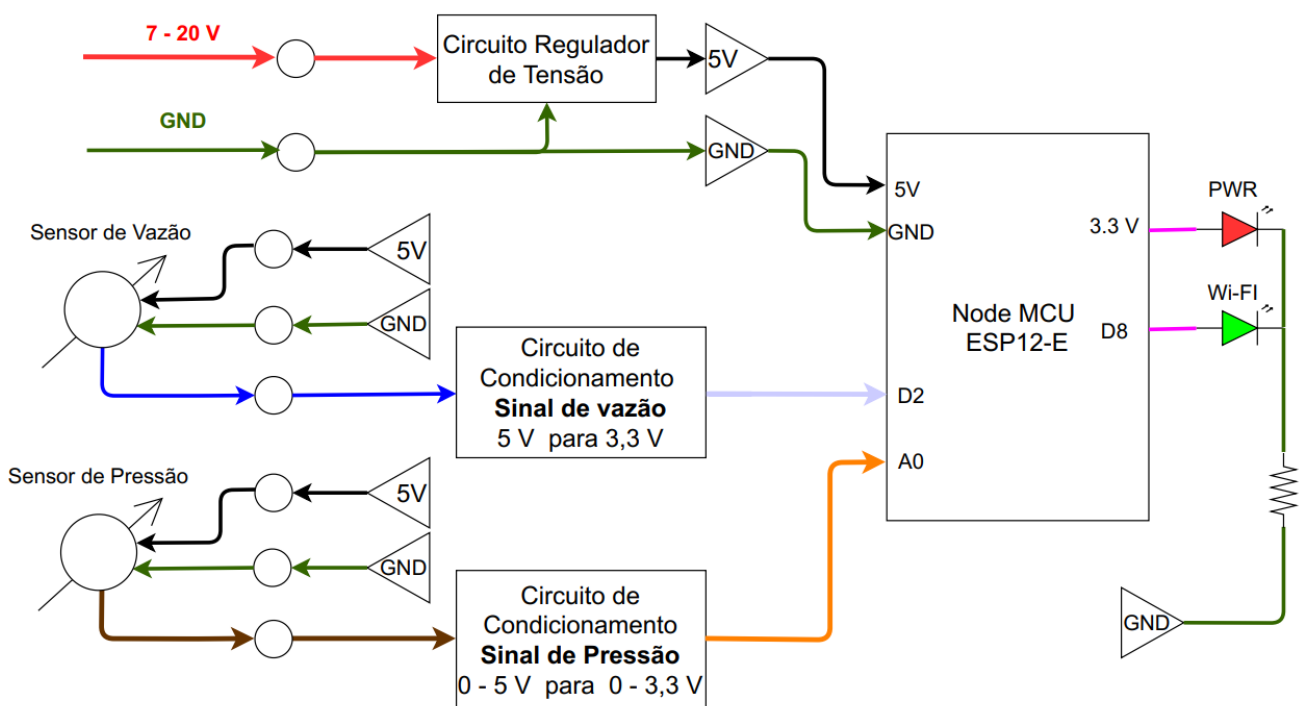
Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Desenvolvimento de PCB

Para desenvolver um protótipo do medidor de consumo de água, mais uma vez empregou-se o software Proteus 8.6®, agora a fim de criar uma placa de circuito impresso para a montagem dos circuitos de condicionamento de sinais, bem como para a conexão deles com o microcontrolador.

O diagrama de blocos de tal placa é apresentado na [Figura 4.7](#). Nela foi inserido também um regulador de tensão, a fim de permitir uma maior faixa de tensões de alimentação. Este circuito é capaz de rebaixar tensões de entrada na faixa de 7 a 20 V, para 5 V, nível necessário para alimentar os circuitos de condicionamento e o microcontrolador. Além disso, observam-se no diagrama ambos os circuitos de condicionamento de sinais propostos, os pontos para alimentação dos sensores e entrada dos sinais, o microcontrolador, e LEDs para indicação do status de alimentação, e de conexão à rede Wi-Fi.

Figura 4.7 – Diagrama de blocos de PCB para o medidor eletrônico de consumo de água.

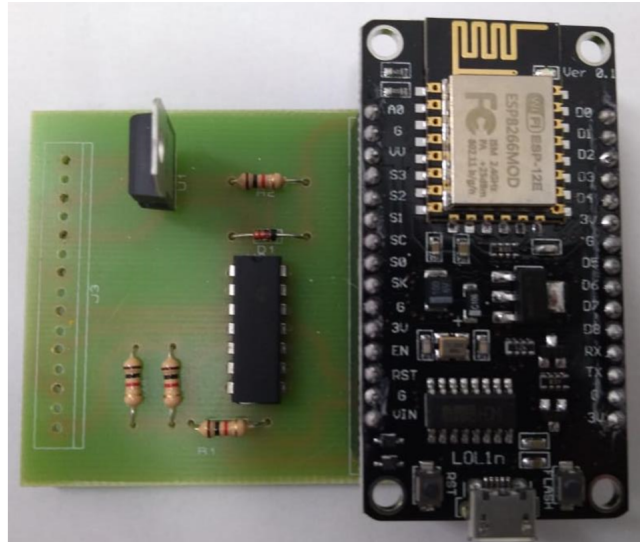


Fonte: Autoria própria.

Além de um botão externo de reset, cuidou-se em implementar um reset físico disparável via código, para que em casos de falha de conexão, fosse possível que o microcontrolador reiniciasse sem intervenção do usuário, para a tentativa de nova conexão à rede Wi-Fi. Este reset funciona conectando-se uma das portas de saída digitais do microcontrolador ao seu pino de reset e, quando a falha de conexão é detectada pelo código, o nível de tensão da porta digital é alterado, levando o microcontrolador a resetar.

Obteve-se então a placa apresentada na [Figura 4.8](#), que engloba os circuitos de condicionamento propostos, regulador e microcontrolador, bem como pode alimentar os sensores.

Figura 4.8 – Placa concebida e implementada para a aquisição e envio dos dados.



Fonte: Autoria própria.

4.2 Desenvolvimento de software

4.2.1 Banco de dados

Foi criado um banco de dados contendo uma única tabela para receber os dados coletados pelo medidor, contendo colunas para armazenar o data e hora de entrada dos dados coletados (*evento*), e para receber os dados dos sensores (*sensor1*, *sensor2* e *sensor3*). Além de colunas para atuar como chave primária da tabela e responsável por armazenar o identificador único de cada medidor, que será recebido juntamente ao conjunto de dados transmitido, permitindo que em uma única tabela, dados advindos de diversos medidores sejam armazenados. A estrutura da tabela do banco é resumida na [Tabela 4.1](#), que apresenta cada coluna e o respectivo tipo de variável empregada.

Tabela 4.1 – Tabela representativa do modelo utilizado no banco de dados.

id (Chave primária)	nse	sensor1	sensor2	sensor3
int	varchar	varchar	varchar	varchar

Fonte: Autoria própria.

A inserção de dados na tabela foi testada a partir de comandos SQL do tipo *INSERT*, executando-se o comando apresentado a seguir. Ele declara que deve ser feita

uma inserção na tabela nomeada *un_sensores*, nos campos *nse*, *sensor1*, *sensor2*, *sensor3*, com valores respectivamente apresentados, conforme apresentado a seguir.

```
INSERT INTO un_sensores ('nse', 'sensor1', 'sensor2', 'sensor3')
VALUES ('1', '100', '200', '300');
```

Obteve-se sucesso na inserção dos dados, validando o incremento automático da chave primária, bem como do armazenamento do horário da entrada do dado no banco. O que foi comprovado a partir de um comando de busca no banco de dados, *SELECT*, que solicita ao banco de dados que retorne todas as informações inseridas em uma determinada tabela, o qual é apresentado abaixo.

```
SELECT * FROM un_sensores;
```

4.2.2 Código PHP

Realizou-se em seguida a implementação de uma API em *PHP* para realizar a recepção dos dados recebidos externamente do microcontrolador através de requisições *HTTP* e persistir os dados no banco, bem como realizar a consulta ao banco de dados através das mesmas requisições, e retornar os dados armazenados. Por questões de organização, o código foi dividido em quatro arquivos:

- *Config.php*: Contém as configurações do banco de dados, senhas e características do banco de dados.
- *Connection.php*: Realiza a conexão com o banco de dados e previne a inserção de caracteres indesejados que possam ser recebidos na requisição.
- *Database.php*: Monta as queries de inserção ou consulta ao banco de dados e realiza a operação.
- *Index.php*: Tem como função detectar a ação desejada pelo usuário e executá-la com o emprego das funções dos códigos auxiliares anteriores.

O código *Index* tem como função receber as requisições *PHP* e identificar qual operação é desejada pelo usuário, no caso, leitura ou escrita. Sendo recebida uma requisição de leitura, o sistema irá realizar a busca dos dados no banco, e retorná-la de modo que possa ser consumido por outra aplicação, como, por exemplo, uma página web que mostra os dados históricos, ou mesmo por outra aplicação que realize o processamento dos dados. Já se a operação for de escrita, o código irá proceder a interpretação do bloco de dados recebidos e executar a rotina de inserção de dados no banco.

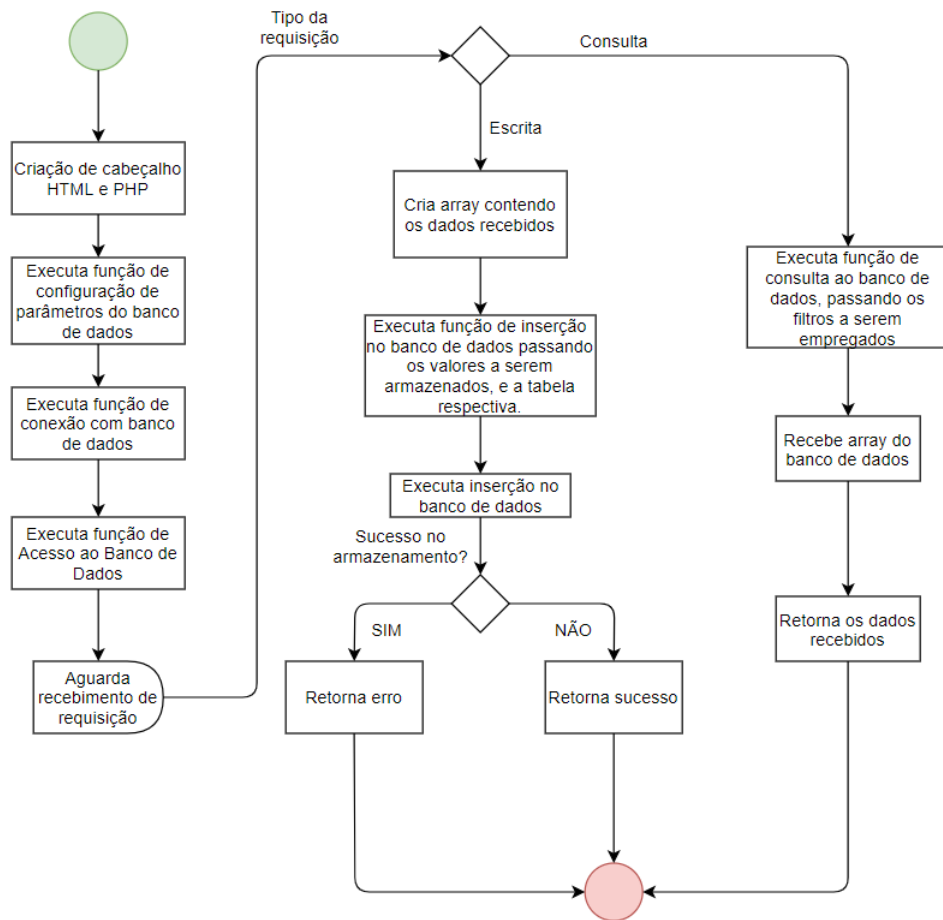
A seleção da ação a ser realizada está contida na URL da requisição HTTP, que no caso de uma solicitação de leitura de dados realizada diretamente do servidor terá a forma `<localhost:8095/meter/Index.php?action=read>`, sendo que "localhost:8095" corresponde ao endereço do servidor e a porta de comunicação em que ele escuta as requisições. Caso a requisição venha a ser realizada a partir de outro dispositivo na rede, o "localhost" é substituído pelo IP do servidor. Já "meter" corresponde a pasta em que o código está armazenado no servidor, e "Index.php" é propriamente o código a ser executado. A partir deste ponto, são colocados índices na requisição, neste caso, o índice "action" contém o comando "read", que indica que a ação a ser realizada é a de leitura. Isto ativa determinada parte do código *PHP*, a leitura ocorre e retornam-se os dados armazenados no banco.

O outro formato possível para a URL seria `<http://localhost:8095/meter/Index.php?action=write&sensor1=10&sensor2=15&sensor3=20&nse=123>`, que contém como ação a ser realizada a inserção de novos dados. Em seguida, têm-se os dados lidos por cada um dos sensores, antecidos pelos respectivos índices identificadores. Os caracteres especiais são separadores empregados pela própria linguagem, que automaticamente identifica os mesmos para a separação dos valores internamente ao código. Por fim, quando recebida uma URL de comando de escrita, a rotina correspondente do programa será executada, e os dados inseridos no banco.

Vale ressaltar que estas requisições HTTP são do tipo *GET*, que foram utilizadas a fim de acelerar o processo de desenvolvimento do protótipo, dada a facilidade da execução das requisições diretamente de um navegador web, sem depender de um programa para realiza-las montando os formulários relacionados aos outros verbos HTTP, tais como *PUT* e *POST*. No caso de uma aplicação comercial, utilizar estas requisições aumentaria a segurança do sistema, pois com elas os dados não são enviados diretamente na URL. E, ainda, empregar técnicas de criptografia na transmissão dos dados, como uma simples conversão para valores hexadecimais dos valores dos sensores, ou então, outro algoritmo de encriptação que permita que o dado criptografado seja retornado ao formato inicial, como Base64 ou AES, seriam metodologias de grande valia para aumentar a segurança.

O código completo, com todas as conexões e comandos de inserção no banco de dados, foi disponibilizado através da ferramenta GitHub, cujo link é apresentado na referência (VENDEMIATTI, 2020). Para facilitar a compreensão do funcionamento do programa, desenvolveu-se diagramas de blocos que permitem uma visualização geral, sem a necessidade de compreensão de códigos. Tal diagrama é apresentado na Figura 4.9, e o diagrama com maior riqueza de detalhes do armazenamento no banco de dados é apresentado no Apêndice A.

Figura 4.9 – Diagrama de Blocos do código PHP.

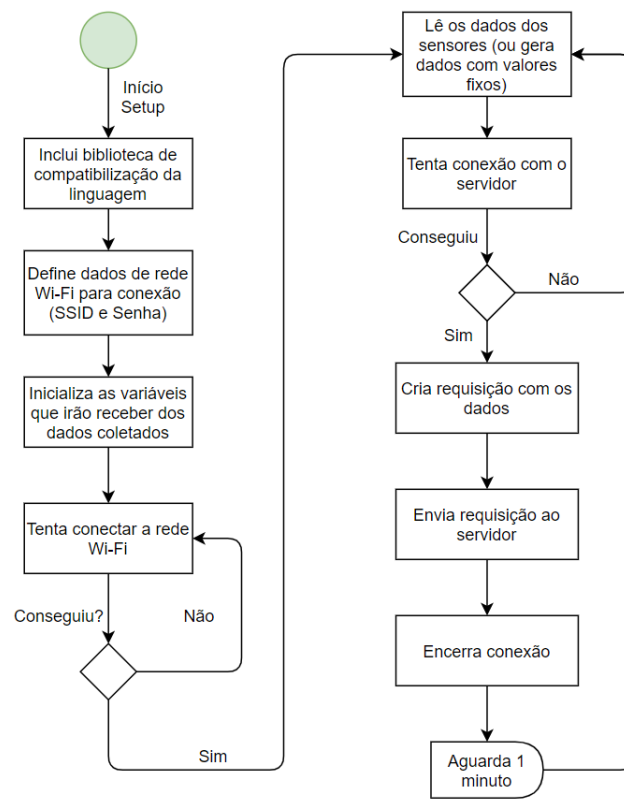


Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Envio de dados a partir do ESP12E com conexão Wi-Fi

Por permitir a conectividade sem fios e o desenvolvimento de um produto com maior facilidade de instalação, escolheu-se como microcontrolador o ESP-12E, o qual é programável em diferentes linguagens, incluindo a Arduino, através de bibliotecas de compatibilização.

Criou-se um código, empregando tais bibliotecas, para que ele se conectasse à rede Wi-Fi na qual o servidor também estava conectado. Após isto, através de requisições do tipo *GET*, o envio de pacotes de dados era realizado, empregando inicialmente dados fixos na URL de inserção de dados mostrada anteriormente, na qual apenas se alterou o "localhost" pelo endereço IP do servidor. Foi então criado um código para manter o ESP-12E enviando dados em intervalos de dados fixos de tempo, a fim de testar a confiabilidade do sistema. O fluxo de execução do código é apresentado na [Figura 4.10](#) e o código que executa tal atividade será apresentado mais à frente.

Figura 4.10 – Diagrama de blocos do programa implementado no ESP-12E.

Fonte: Autoria própria.

O código foi desenvolvido de modo que o envio do pacote de dados ocorresse a cada 3 segundos e foi mantido em execução pelo período de uma semana. Nesta simulação, não houve perdas de dados, nem erros nos valores recebidos, o que foi comprovado pelo volume de dados recebido, bem como pela somatória dos valores armazenados para cada um dos sensores, mostrando assim a estabilidade do ESP12E para o envio dos dados a um servidor web. Tal código foi disponibilizado em repositório GitHub referenciado em (VENDEMIATTI, 2020).

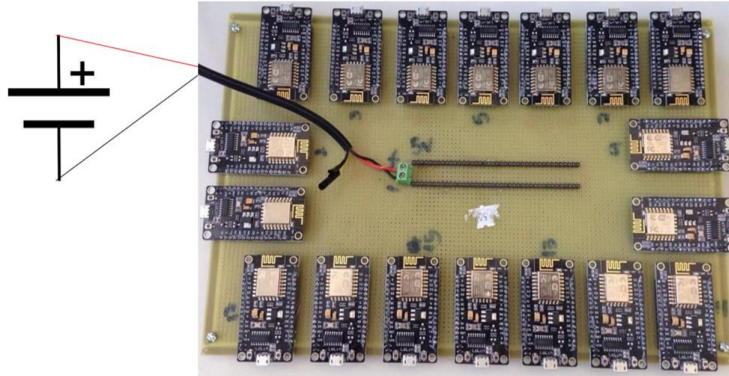
4.2.4 Análise da robustez da comunicação de dados

Como o mestrado visou o desenvolvimento de uma aplicação comercial, foi prevista uma grande quantidade de conexões simultâneas. Para simular esta situação, foi necessário o emprego de uma quantidade maior de microcontroladores enviando dados em conjunto.

Desenvolveu-se então um dispositivo composto por 18 microcontroladores ESP-12E, cada um simulando outros cinco microcontroladores, a fim de analisar a confiabilidade de envio dos dados, e a recepção deles por parte do servidor. Assim, implementou-se a placa apresentada na Figura 4.11, que é composta pelos microcontroladores conectados a um

barramento de alimentação em corrente contínua através da técnica de *Wire Wrap*.

Figura 4.11 – Dispositivo com 18 ESP12-E para testes de envios simultâneos de dados.



Fonte: [Vendemiatti \(2018\)](#).

Para que cada um dos microcontroladores simulasse outros cinco enviando os dados, foi necessário alterar o código inicialmente criado. Sendo agora programados para enviar em série cinco conjuntos de dados (URL), cada uma representando um equipamento diferente, ou seja, com diferentes identificadores, que são alocados no campo *nse* da tabela do banco de dados. Cada bloco de requisições passou a ser enviado a cada 1 minuto, a fim de simular o tráfego esperado advindo de um equipamento real. Este sistema foi mantido ligado por um período de 6 dias, com o intuito de observar se os microcontroladores se mantiveriam estáveis e, em seguida, verificar o volume de dados recebido por ambos os servidores.

4.3 Integração de hardware e software

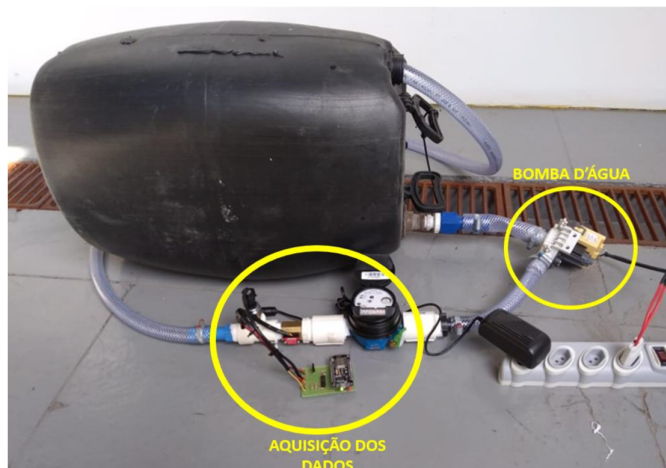
Após validado o condicionamento de sinais, desenvolvida a placa, e comprovada a capacidade de recepção dos dados pelo servidor, foi realizada a integração de hardware e software. Nesta etapa, uniu-se os sensores ao hardware desenvolvido para que os dados gerados por eles pudessem ser adquiridos e armazenados, bem como para que a precisão dos sensores fosse avaliada.

4.3.1 Sistema integrado para validação de dados

Para validar a coleta de dados reais de pressão e vazão, foi montado um sistema de recirculação de água. O microcontrolador foi mantido enviando dados para apenas um servidor, baseado no sistema operacional Linux CentOS 6, através da rede local de comunicação sem fios. O código empregado nesta etapa do projeto está disponível no repositório GitHub acessível em ([VENDEMIATTI, 2020](#)), e seu diagrama de blocos no Apêndice B.

Tal sistema é apresentado na [Figura 4.12](#) e podem-se observar os sensores conectados a placa de condicionamento de sinais, com o microcontrolador, e também montados no sistema de recirculação. Este dispositivo consiste em um reservatório com uma bomba d'água, que circula o fluido pelos sensores e o retorna para o reservatório.

Figura 4.12 – Circuito de recirculação de água com os sensores e a placa de aquisição instalados.



Fonte: [Vendemiatti \(2018\)](#).

Além disso, foi conectado em série aos sensores de pressão e vazão um hidrômetro mecânico do tipo multijato, para permitir a validação dos dados coletados pelo sensor desenvolvido a partir do dado coletado por um equipamento de medição comercial, o que pode ser observado com mais detalhes na [Figura 4.13](#), incluindo os LEDs indicadores do estado de funcionamento da placa. O LED vermelho é o indicador de alimentação elétrica, e o LED verde, indicador da conexão à rede sem fios. Os sensores são conectados por completo à placa, ou seja, tanto alimentação como saída de sinais.

Figura 4.13 – Detalhe da montagem dos sensores e da conexão com a placa.



Fonte: [Vendemiatti \(2018\)](#).

Este sistema foi mantido ativado por um período de nove horas, com a bomba d'água mantendo uma vazão constante, bem como a pressão. Uma parcela dos dados obtidos é apresentada na [Tabela 4.2](#), que mostra alguns dos pontos de dados obtidos pelo sistema. Observa-se que o intervalo de envios é constante, assim como os dados de pressão e vazão, o que satisfaz a característica esperada para um sistema fechado de recirculação de água baseado em bomba d'água, isto é fluxo de água e pressão constante. Além disso, como o sistema não é pressurizado, a pressão manteve-se baixa durante todo o experimento, assim como esperado.

Tabela 4.2 – Dados reais de pressão, vazão e consumo obtidos no sistema de recirculação de água.

Horário do Evento	Pressão (kgf/cm^2)	Vazão (l/min)
7:30	0,25	14,9
7:31	0,25	14,9
7:32	0,25	14,9
7:33	0,25	14,9
7:34	0,25	14,9
7:35	0,25	14,9
7:36	0,25	14,9
7:37	0,25	14,9
7:38	0,25	14,9
7:39	0,25	14,9
7:40	0,25	14,9

Fonte: Autoria própria.

Para validar o volume de água que circulou pelo sistema, empregou-se então o hidrômetro mecânico que estava instalado em série com os sensores eletrônicos, de modo que todo o volume de água circulado pelos medidores eletrônicos circulasse pelo mecânico. Como a vazão é medida pelo sensor eletrônico correspondente em l/min , e os dados recebidos a cada minuto, a vazão corresponde diretamente ao volume de água circulado no intervalo. Deste modo, ao somar todos os dados de vazão, tem-se o volume total do fluido que circulou pelo sistema.

Dado que o sistema foi mantido ligado por *9 horas*, obteve-se mais de 500 entradas de dados. Imediatamente antes de alimentar a bomba d'água, e imediatamente após desligá-la, o hidrômetro mecânico foi aferido, conforme apresentado na [Figura 4.14](#), respectivamente para a medição inicial e final. O volume de água mensurado pelo hidrômetro é obtido a partir da subtração da indicação de volume final pela indicação inicial do visor do hidrômetro. Para obter o volume aferido pelo sensor eletrônico, realiza-se a soma dos valores de vazão presentes no servidor para o correspondente intervalo.

Figura 4.14 – Leituras realizadas no hidrômetro do sistema de recirculação de água, ao início e fim do período de coleta de dados.



Fonte: Vendemiatti (2018).

Ambos totais são apresentados na Tabela 4.3, em que observa-se volumes diferentes entre as medições, todavia, o hidrômetro apresenta tolerância de medição de $\pm 10\%$ e o sensor eletrônico de $\pm 3\%$ segundo os dados do fabricante, para ambos, assim, pode-se validar a medição do consumo a partir do sistema embarcado desenvolvido.

Tabela 4.3 – Dados reais de pressão e vazão coletados do sistema de recirculação.

Volume mensurado (l)	
Hidrômetro	Sistema embarcado
$7463 \pm 10\%$	$7789 \pm 3\%$

Fonte: Autoria própria..

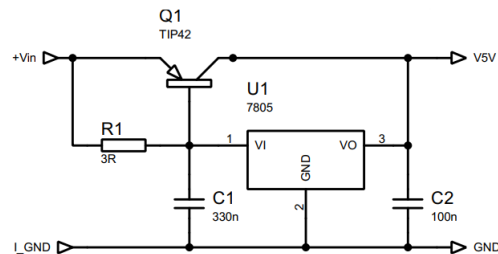
4.3.2 Alimentação do medidor

Por se tratar de um medidor remoto de consumo de água, é necessário que haja alguma autonomia de funcionamento em caso de perda de alimentação da rede elétrica. Para isto, foi desenvolvido juntamente à Yamatec um circuito para permitir que o medidor fosse alimentado tanto pela rede elétrica e, em caso de queda na alimentação, fosse alimentado por uma bateria.

Optou-se por utilizar um *power-bank* comercial como fonte secundária de energia para o medidor, por permitir ser carregado com uma tensão de $5V$, bem como por ter uma tensão de saída também de $5V$. Além disso, a bateria deste dispositivo apresenta pequeno tamanho e peso, por se tratar de uma célula de lítio, e o dispositivo também já conta com o circuito de controle de carga necessário para a utilização com este tipo de bateria.

Como o limite de corrente de saída do regulador de tensão LM7805 seria inferior à corrente drenada pelo carregamento do *power-bank* e para a alimentação do circuito do medidor, foi necessário alterar a metodologia empregada para gerar a queda de tensão necessária para alimentar ambos. Para isto, foi utilizado um circuito proposto no datasheet do próprio regulador de tensão para sua utilização aliada a um transistor, de modo a criar um regulador de tensão de alta corrente de saída (FAIRCHILD, 2001). Tal circuito é apresentado na Figura 4.15, e nele a máxima corrente de saída é limitada pelo transistor TIP42, que permite uma corrente máxima de saída no circuito regulador de tensão a ser utilizado de 6A (ON SEMICONDUCTOR, 2007).

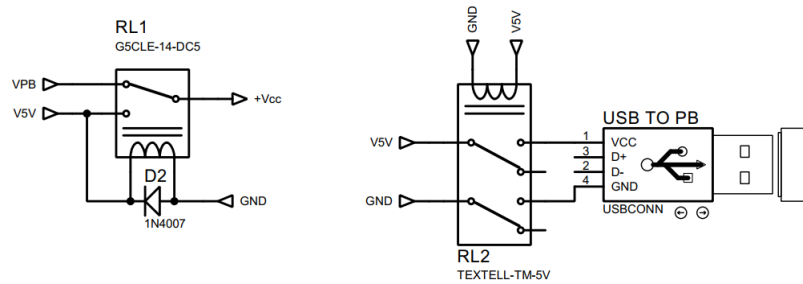
Figura 4.15 – Circuito regulador de tensão com alta corrente de saída



Fonte: Autoria própria.

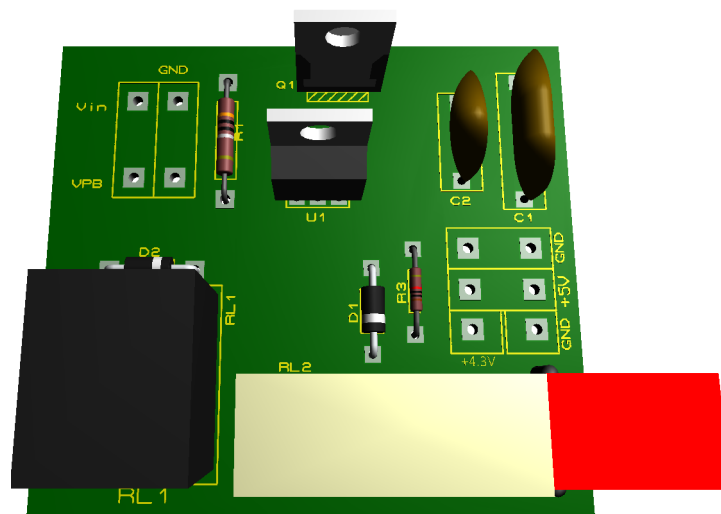
Durante testes de bancada, constatou-se que devido às características construtivas do *power-bank* seria necessário que o terra em sua saída não fosse unido ao terra da porta de carregamento enquanto estivesse fornecendo energia. Para isto, foi necessário o emprego de um circuito com dois relés, um de dois canais que permitisse que a porta de carregamento fosse conectada ao circuito apenas quando a alimentação externa estivesse conectada, e ainda um segundo relé para permitir chavear entre as fontes de energia.

Na Figura 4.16 é apresentado o circuito que permite carregar o *power-bank* e também chavear entre as fontes de energia. Tal circuito é utilizado após o regulador de tensão de alta corrente apresentado acima, sendo V5V conectado à saída do regulador de tensão, e VPB conectado à saída do *power-bank*. Ambos os relés são acionados quando a fonte externa é ligada, de modo que tanto o circuito do medidor, quanto a bateria são alimentados por ela. Já quando desativada, a fonte de alimentação do circuito passa a ser o *power-bank*, e o terra de sua porta de alimentação é desconectado do circuito. É possível ver na saída do relé de dois canais um conector USB, que foi utilizado para facilitar a conexão da placa com o *power-bank*.

Figura 4.16 – Circuito com relés para integração de *power-bank*.

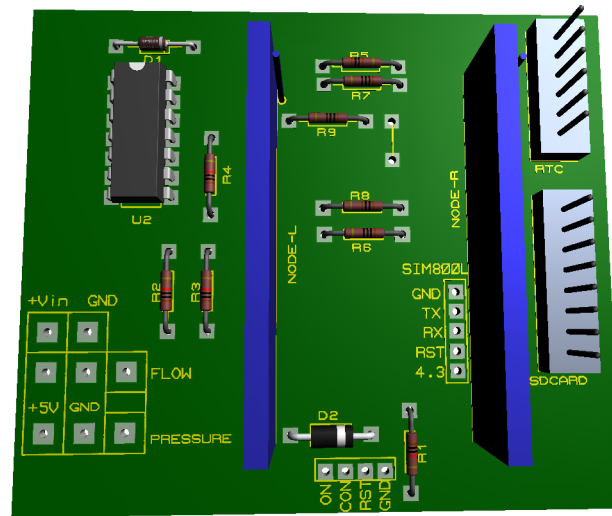
Fonte: Autoria própria.

Para permitir uma montagem facilitada e a redução do tamanho das placas de circuito impresso, foram desenvolvidas duas novas PCBs, uma para acomodar os circuitos de fonte e outra para acomodar apenas os circuitos de condicionamento de sinais e o microcontrolador. O modelo 3D de ambas as placas é apresentado respectivamente na [Figura 4.17](#) e na [Figura 4.18](#). Vale ressaltar que na nova PCB de condicionamento de sinais foram adicionados três novos *slots*, correspondendo a interface para um Real-Time-Clock (RTC), para um SDCard e finalmente para um módulo de comunicação GRPS (SIM800L). Porém, tal adição não será discutida por não ser considerada relevante para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 4.17 – Modelo 3D de PCB concebida para conter os circuitos de alimentação do medidor

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.18 – Modelo 3D de nova placa de circuitos de condicionamento de sinais.



Fonte: Autoria própria.

Após a confecção das placas foi possível testar os circuitos desenvolvidos, os quais se mostraram funcionais para permitir chavar entre a fonte de alimentação conectada à rede elétrica e um *power-bank* comercial. Este último possuía uma potência nominal de $5000mAh$, e conferiu uma autonomia de 12 h para o medidor, realizando o envio de dados a cada 10 minutos.

4.4 Conclusão parcial

Pode-se observar neste capítulo que os sinais de saída dos sensores foram devidamente condicionados para conexão com o microcontrolador, seguindo suas especificações, bem como a integração dos circuitos e do microcontrolador em uma PCB. Demonstrou-se também a metodologia para recepção dos dados em um servidor de dados, que foi avaliado através do envio massivo de dados por um conjunto de microcontroladores.

Em seguida, comprovou-se a eficácia do sistema para realizar a medição dos parâmetros de pressão e vazão, demonstrando-se que o sistema poderá ser aplicado comercialmente. Não obstante, pode-se empregar os dados gerados pelo sistema para realizar a análise dos padrões de consumo e uma provável detecção de vazamentos.

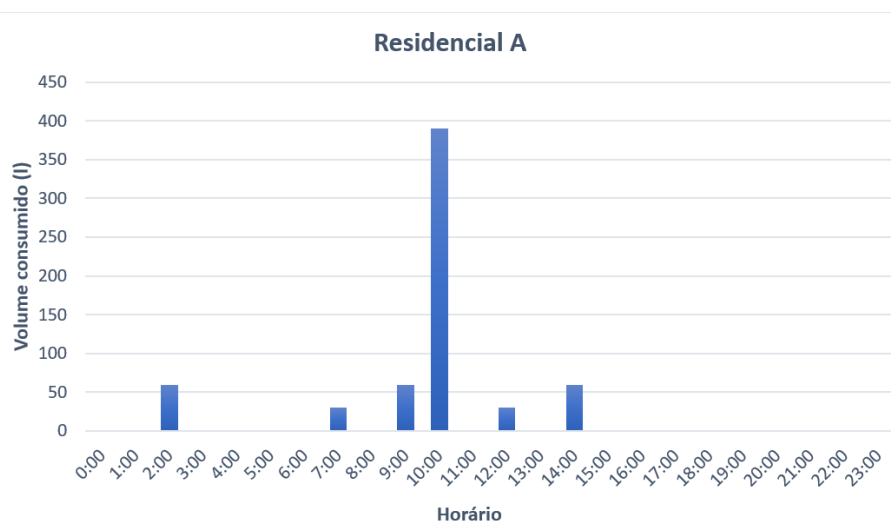
5 Resultados Experimentais

Após os testes de conectividade não mais a partir da rede local, e sim através da internet, a empresa financiadora do projeto desenvolveu um envólucro para permitir a instalação do equipamento em ambientes externos, permitindo iniciar a venda do equipamento. Para a análise a ser realizada neste capítulo, a empresa forneceu conjuntos de dados de clientes identificados apenas como "Industrial" e "Residencial", a fim de manter a privacidade dos clientes. Por questões de redução de tráfego, o intervalo entre coletas dos dados foi reduzido para 10 *minutos*, no entanto, um dos conjuntos de dados enviados ainda possui intervalo de envio a cada 1 *minuto*.

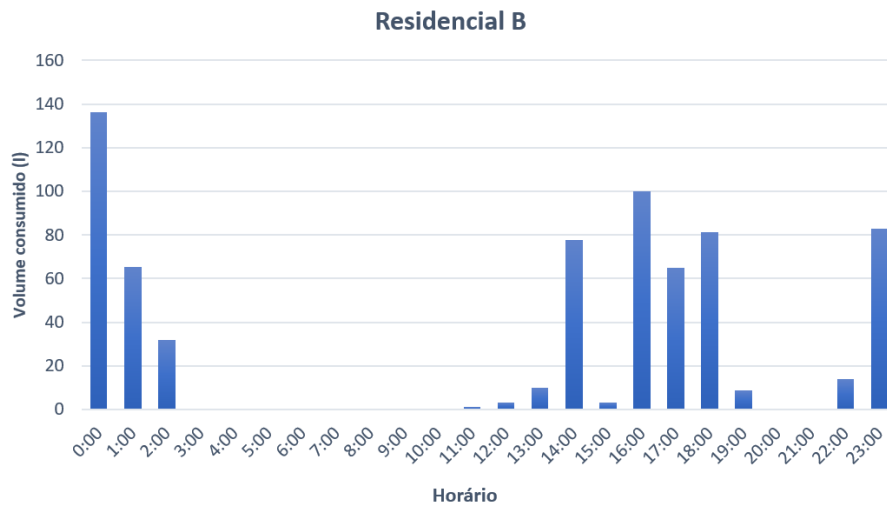
5.1 Consumidor residencial

Nesta seção, serão analisados os dados de consumidores residenciais que possuem características diferentes de um consumidor industrial. Isto porque, é usual que em determinados períodos, ao longo do dia, não ocorra consumo de água, o que pode ser observado nos gráficos das [Figura 5.1](#), [Figura 5.2](#), [Figura 5.3](#), em que se apresenta o volume de água utilizado por cada consumidor residencial, ao longo das 24h de um dia. Neles, pode-se observar que mesmo possuindo padrões e volume de consumo diferentes, o que ocorre devido às diferentes rotinas e tamanho do grupo de moradores, existem períodos que não há consumo, em especial, durante a madrugada, sendo este um ponto de partida para iniciar a análise dos dados para a detecção de vazamentos.

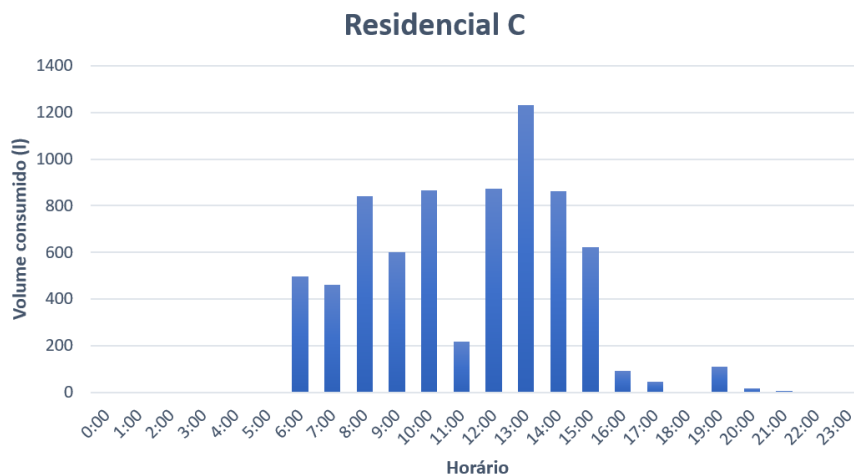
Figura 5.1 – Consumo de água por horário para o consumidor Residencial A, no dia 7 de maio de 2019.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.2 – Consumo de água por horário para o consumidor Residencial B, no dia 7 de maio de 2019.

Fonte: Autoria própria.

Figura 5.3 – Consumo de água por horário para o consumidor Residencial C, no dia 7 de maio de 2019.

Fonte: Autoria própria.

5.1.1 Busca por consumos contínuos

De posse dessas informações, será inicialmente analisada a ocorrência de consumo contínuo de água durante a madrugada. Tal consumo contínuo é caracterizado por um fluxo ininterrupto de água, que reflete em um volume consumido constante ao longo do tempo. Devidas às características do conjunto de dados, agruparam-se os valores de consumo por hora, para a realização de uma macro análise, com o intuito de verificar se houve consumo constante no período de $0h$ a às $6h$, uma vez que neste intervalo de horários, de acordo com o perfil de consumo residencial apresentado anteriormente não é esperada a utilização de

água. Não foram empregados os dados ao longo de todo o dia, dado que fora do período da madrugada pode haver utilização de água na residência, gerando falsos positivos. Para isto, foi desenvolvido um código em Python que verificava se houve consumo durante as seis horas seguidas, e que identificava em quais dias isto ocorria. Tal código foi disponibilizado em repositório GitHub disponível em [Vendemiatti \(2020\)](#) e seu diagrama de blocos no Apêndice C.

A parcela do código que realiza a busca pelos períodos com consumo constante é apresentada a seguir, sendo que na variável *TimeStamp* estão armazenados os horários relativos aos grupos de dados, e em *Flow*, os valores de consumo. Então, toda vez que for observado consumo em um dos intervalos do horário, incrementa-se um contador, caso haja um dos horários sem consumo este contador é zerado. Caso este contador demonstre 6 horas de consumo contínuo, constata-se que há um provável vazamento.

```
for i in range(0, numLines -1):
    time = int(TimeStamp[i])
    if 0 <= time <= 6:
        if time == 0:
            statusLeakage = 0
        if Flow[i] > 0:
            statusLeakage = statusLeakage+1
        else:
            statusLeakage = 0
    if statusLeakage == 6:
        print(DateStamp[i])
        dateLeakage.append(DateStamp[i])
        numLeakage = numLeakage + 1
```

Com esta primeira análise foi possível encontrar o comportamento de um vazamento em todos os grupos de dados relativos a residências, em diversos dias, ou seja, um consumo ininterrupto de água no período da madrugada. Para o consumidor Residencial A, entre abril de 2019 a março de 2020, foram encontrados dois dias com característica de vazamento. Já o consumidor Residencial B, com dados de agosto de 2018 a março de 2020, apresentou um total de 76 dias com consumo contínuo de água durante a madrugada. Além disso, no caso deste consumidor, este padrão se repetia por madrugadas seguidas, reforçando a possibilidade de um defeito hidráulico causador da perda de água. Finalmente, para o consumidor Residencial C, monitorado no período de setembro de 2017 a março de 2020, observou-se a característica de consumo contínuo em nove madrugadas. Estes resultados são resumidos na [Tabela 5.1](#).

Tabela 5.1 – Dias com consumo atípico encontrados para os consumidores residenciais.

Consumidor	Madrugadas com consumo contínuo
Residencial A	2
Residencial B	76
Residencial C	23

Fonte: Autoria própria.

Entretanto, isto ainda não é suficiente para comprovar que houve um vazamento. Para tanto, é preciso analisar os dados visando identificar se consumo de água foi constante durante o período amostrado, e também com uma taxa de amostragem maior do que o intervalo de uma hora, uma vez que podem ocorrer mudanças de rotina na residência, que levem à alteração do padrão de consumo.

Para o consumidor Residencial A, o consumo no período da madrugada não foi uniforme, conforme pode ser observado na [Figura 5.4](#), excluindo uma das principais características de um vazamento, isto é, um fluxo contínuo e constante de água. Ao analisar os dados coletados em amostras de 10 em 10 minutos, constata-se que não há consumo contínuo de água. Além disso, quando há consumo, o mesmo ocorre com valores diferentes, conforme apresentado na [Tabela 5.2](#), que contém uma amostra dos dados brutos, coletados no dia 13 de maio de 2019 a cada 10 *minutos*, em que se observou o padrão de consumo atípico. Estes fatores indicam que houve uma alteração de rotina na residência, o que levou ao consumo durante a madrugada. Esta análise é a mesma para os dados da segunda data em que também se observou consumo atípico na residência em questão.

Figura 5.4 – Consumo de água em dia com vazamento para o consumidor Residencial A.

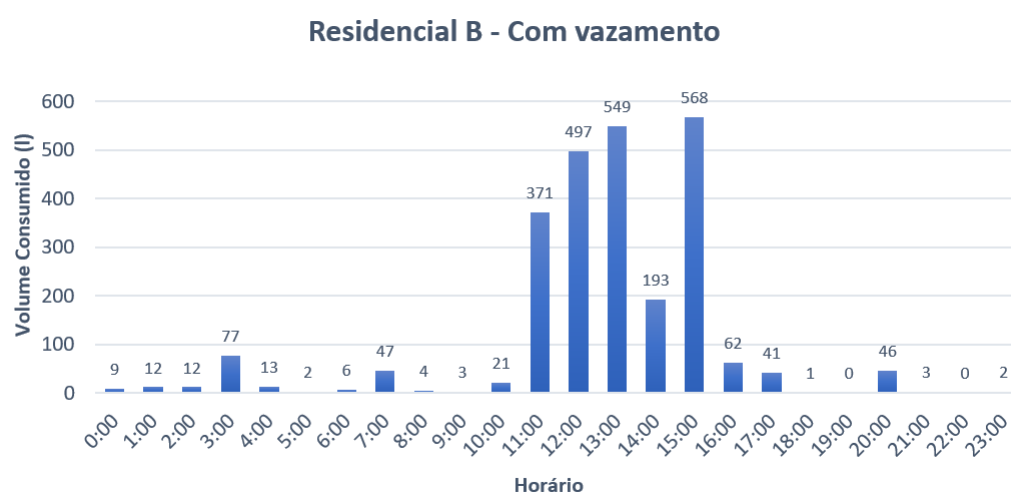
Fonte: Autoria própria.

Tabela 5.2 – Amostra dos dados relativos ao dia 13 de maio de 2019 no período da madrugada, para o consumidor Residencial A.

Horário	Volume consumido
01:59	30
02:09	0
02:19	10
02:29	10
2:39	0
2:50	10
3:01	0
3:11	0
3:22	0
3:32	0
3:43	10
3:53	30
4:02	10
4:16	0

Fonte: Autoria própria.

Entretanto, para o consumidor Residencial B, o comportamento durante o período das 0h às 6h foi diferente do anterior, demonstrando um volume consumido constante, ou com pequenas variações a cada hora, conforme apresentado na [Figura 5.5](#). Já ao analisar os dados coletados minuto a minuto, conforme a resolução do medidor residencial B, observa-se descontinuidade no consumo, todavia, quando há consumo, este corresponde à mínima resolução do medidor. Uma amostra dos dados deste medidor é apresentada na [Tabela 5.3](#). Neste caso, é provável que a perda de água se deva a algum defeito hidráulico tal como uma torneira com problemas de vedação ou caixa de descarga acoplada mal regulada, resultando em um volume de 54l desperdiçado durante a madrugada.

Figura 5.5 – Consumo de água em dia com vazamento para o consumidor Residencial B.

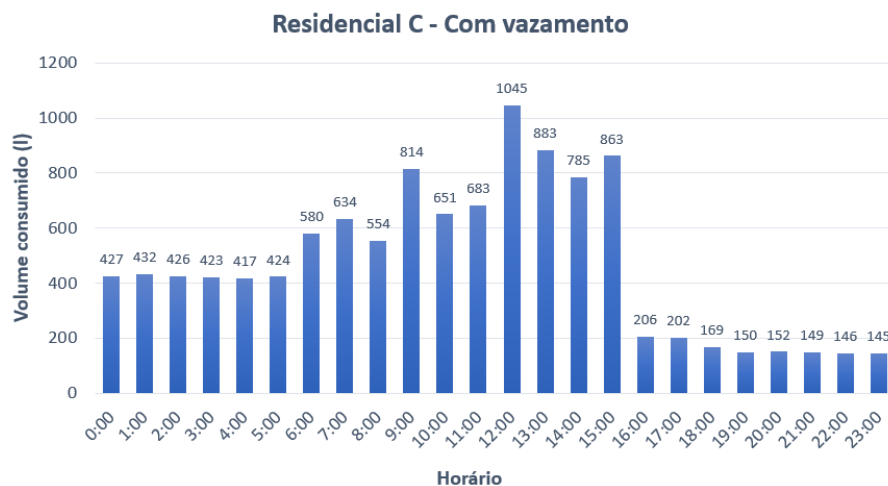
Fonte: Autoria própria.

Tabela 5.3 – Amostra dos dados relativos ao dia 27 de setembro de 2019 no período da madrugada.

Horário	Volume consumido
1:37	0
1:38	0
1:39	0.15
1:40	0.15
1:41	0.15
1:42	0
1:43	0.15
1:44	0.15
1:45	0.15
1:46	0
1:47	0
1:48	0.15
1:49	0.15
1:50	0.15

Fonte: Autoria própria.

Por fim, para o consumidor Residencial C, nas datas observadas para o consumidor Residencial observa-se uma perda de água elevada, com pouca variação entre os horários amostrados, o que pode indicar a ocorrência de um vazamento de grandes proporções, como pode ser observado na [Figura 5.6](#), em que para uma única madrugada foram consumidos 3119 l. Na tabela apresentada na [Tabela 5.4](#), tem-se o excerto de dados que comprova a existência de um consumo de água em volume constante durante toda a noite, indicando a ocorrência de um vazamento de maior intensidade, ou então, um defeito hidráulico de maiores proporções, como uma torneira esquecida aberta.

Figura 5.6 – Consumo de água em dia com vazamento para o consumidor Residencial C.

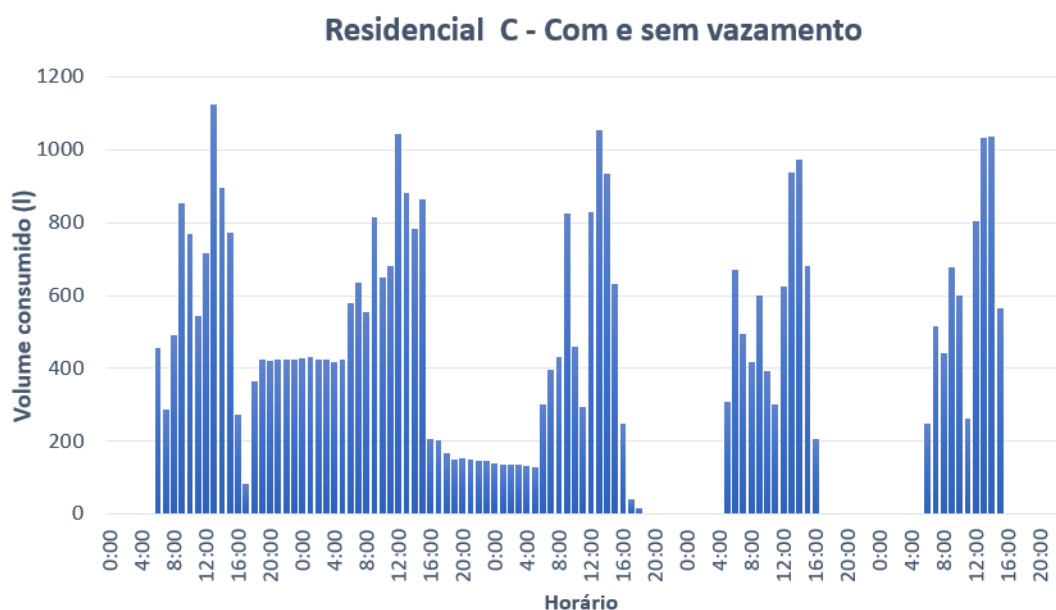
Fonte: Autoria própria

Tabela 5.4 – Amostra dos dados relativos ao dia 8 de agosto de de 2019 no período da madrugada, para o consumidor Residencial C.

Horário	Volume consumido
0:00	7.25
0:01	7.24
0:02	7.26
0:03	7.25
0:04	7.25
0:05	7.25
0:06	7.24
0:07	7.24
0:08	7.23
0:09	7.24
0:10	7.25
0:11	7.25
0:12	7.24
0:13	7.23

Fonte: Autoria própria.

Vale aqui ressaltar que após a identificação do provável vazamento, e respectivo alerta enviado ao consumidor, o mesmo foi corrigido, o que pode ser observado nos dados de dias seguintes a identificação do vazamento, em que não ocorre mais o consumo de água durante a madrugada. O que pode ser observado no gráfico apresentado na [Figura 5.7](#), que apresenta o padrão de consumo para o intervalo entre o dia do início do vazamento e dois dias após a resolução do defeito hidráulico.

Figura 5.7 – Consumo de água no intervalo entre detecção e correção de vazamento para o consumidor residencial C.

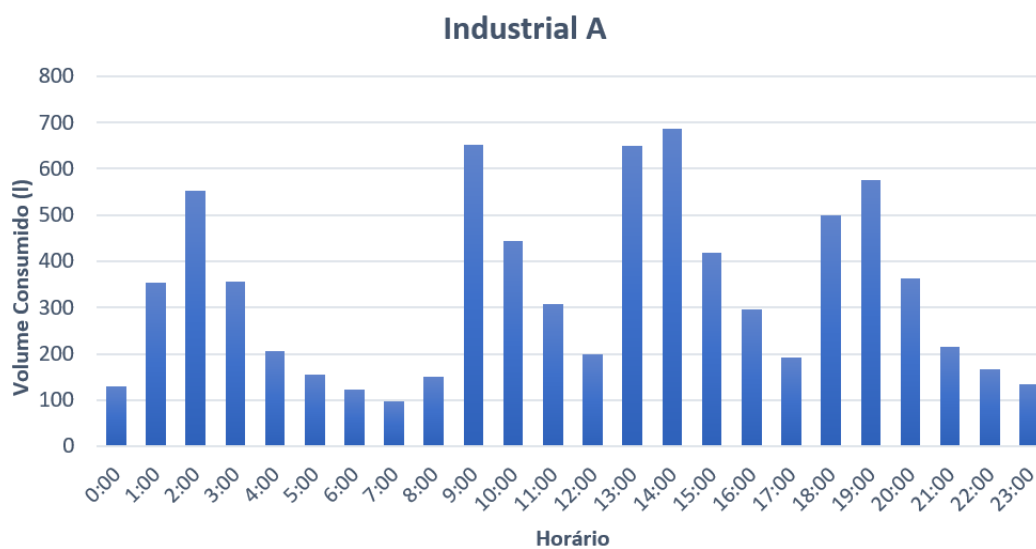
Fonte: Autoria própria

A partir do exposto anteriormente, e da resolução do problema de perda de água após a notificação do consumidor, demonstra-se que a metodologia de busca por períodos contínuos de consumo pode ser empregada para a detecção de vazamentos em residências. Podendo tal técnica ser refinada a partir análise da variação do volume consumido durante o período, a fim de evitar falsos positivos causados por alterações de rotina, conforme observado para o consumidor Residencial A. Refinamentos podem ser realizados a partir de informações fornecidas pelo consumidor, tais como horário de trabalho e de momentos em que é usual a presença de pessoas na residência, de modo que uma quantidade maior de intervalos possa ser analisada durante o dia, de acordo inclusive com o dia da semana. Isto torna possível que o processo de análise seja realizado de forma automática e que o cliente seja notificado sobre um provável vazamento em um curto período de tempo.

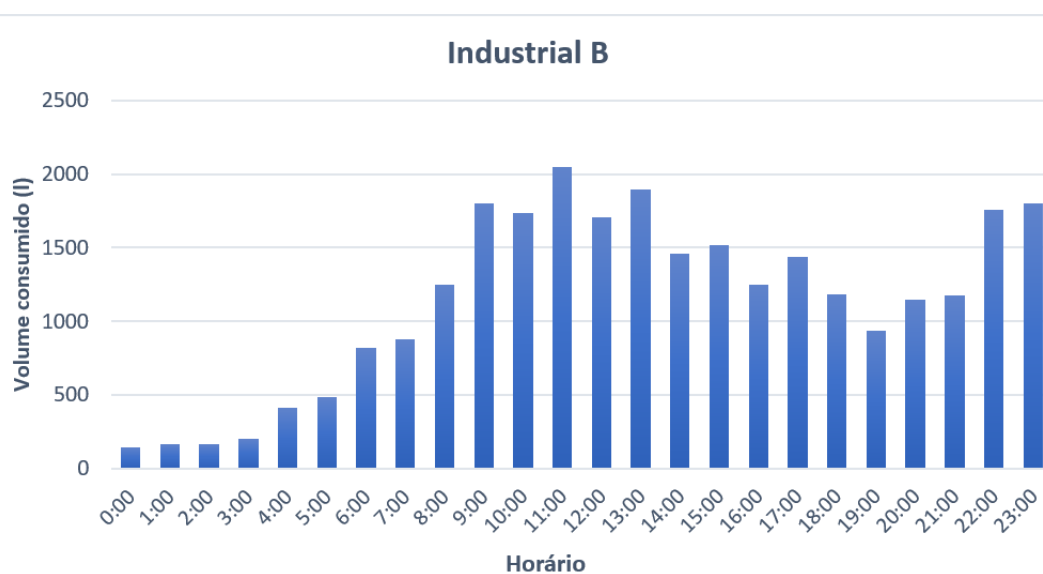
5.2 Consumidor industrial

De modo diferente de um consumidor residencial, um consumidor industrial possui um padrão atrelado aos turnos de trabalho e de acordo com a demanda de produção. Deste modo, apenas analisar consumo contínuo em determinados períodos do dia pode ser ineficiente, o que pode ser observado nos gráficos das [Figura 5.8](#), [Figura 5.9](#) e [Figura 5.10](#), em que se apresenta o consumo de água em um período de 24h, agrupado de hora em hora.

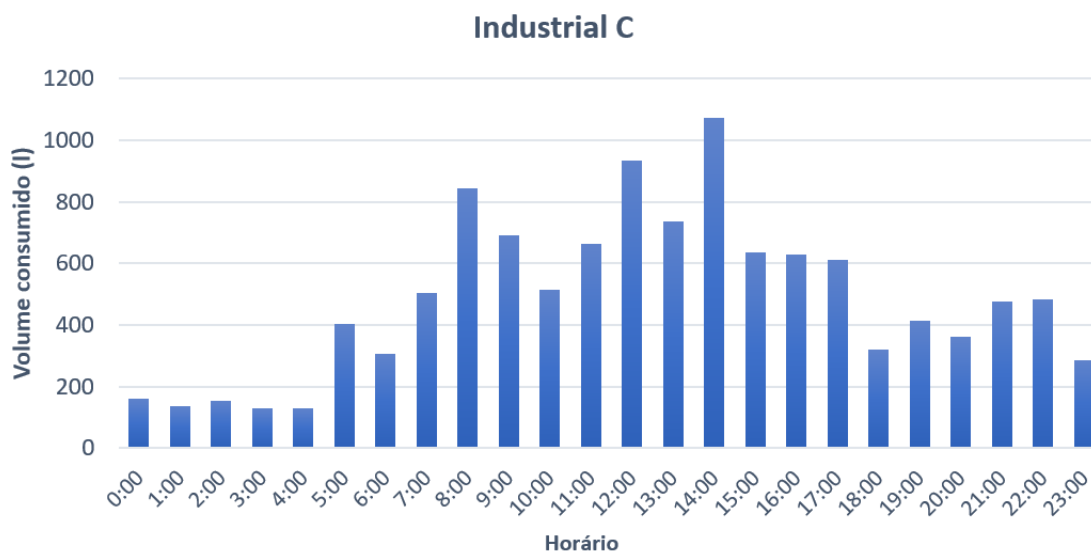
Figura 5.8 – Consumo de água por horário para o consumidor Industrial A, em 14 de janeiro de 2019.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.9 – Consumo de água por horário para o consumidor Industrial B, em 11 de fevereiro de 2019.

Fonte: Autoria própria.

Figura 5.10 – Consumo de água por horário para o consumidor Industrial C, em 22 de janeiro de 2020.

Fonte: Autoria própria.

Como observado para todos os consumidores, não ocorreram períodos com parada de consumo, porém, não se pode afirmar com total certeza de que este fato não ocorra. Por isto, executou-se para estes conjuntos de dados a mesma análise do grupo anterior, isto é, a busca por dias em que o consumo não cessou durante a madrugada. A [Tabela 5.5](#) compara a quantidade de dias de cada conjunto de dados, e a quantidade de dias com

consumo contínuo durante a madrugada. Nela observa-se a grande quantidade de dias em que ocorre consumo contínuo durante a madrugada, em função da rotina industrial. Deste modo, a análise proposta para o consumidor residencial será ineficiente para o consumidor industrial.

Tabela 5.5 – Quantidade de dias analisados *versus* dias com consumo contínuo durante a madrugada.

Consumidor	Total de dias analisados	Dias com consumo contínuo
Industrial A	717	547
Industrial B	395	300
Industrial C	106	89

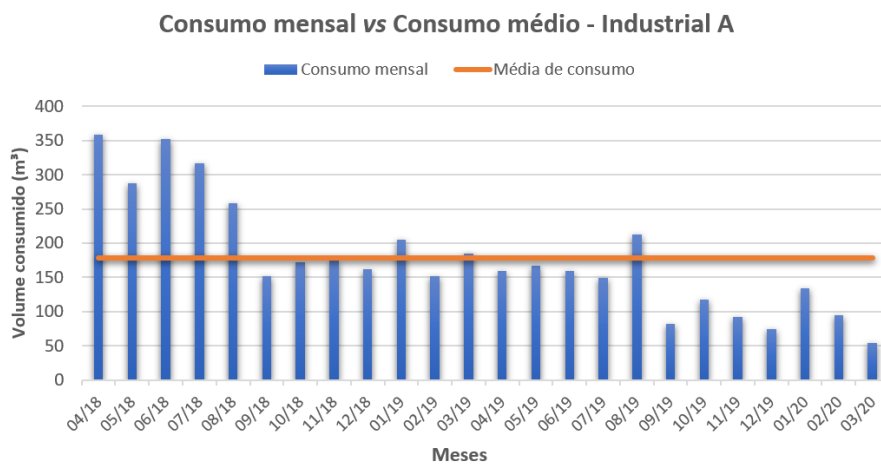
Fonte: Autoria própria.

Propôs-se então realizar uma análise com caráter estatístico, a fim de comparar os consumos entre meses e dias específicos da semana, de modo a permitir identificar alterações nos padrões de consumo, sejam estas causadas por alterações na rotina industrial ou causadas por vazamentos.

5.2.1 Análise estatística de variações de consumo

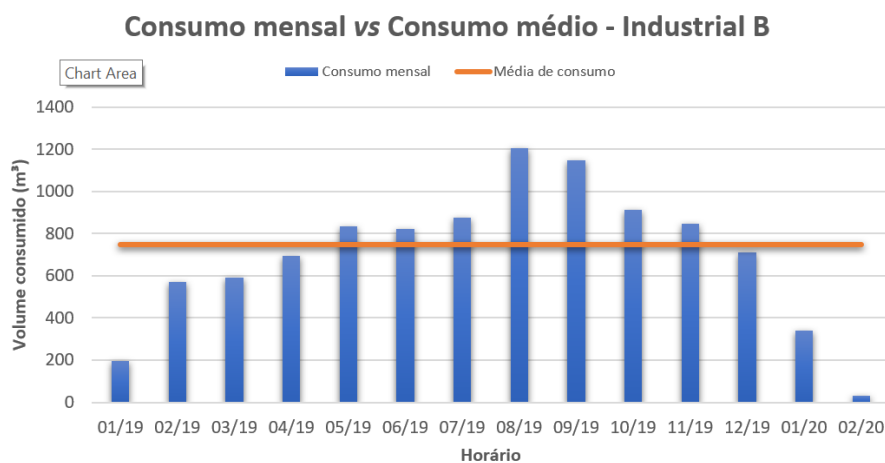
Inicialmente, comparou-se os dados de consumo mensal para os consumidores Industriais A e B. Para estas análises o consumidor Industrial C não será considerado, dado o tamanho do conjunto de dados disponibilizado pela empresa. Nesta etapa, o intuito será identificar grandes variações no consumo, o que pode ser indicador da ocorrência de vazamentos. Para esta análise, serão utilizados os gráficos das [Figura 5.11](#) e [Figura 5.12](#) em que se apresenta nas barras os valores para o volume de água consumido em um mês, e na linha laranja o valor médio de consumo.

Figura 5.11 – Consumo de água por mês (barras azuis) e média de consumo (linha laranja) para o consumidor Industrial A.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.12 – Consumo de água por mês (barras azuis) e média de consumo (linha laranja) para o consumidor Industrial B.



Fonte: Autoria própria.

Para o consumidor Industrial A, nota-se que nos primeiros meses de coleta de dados o consumo mostrou-se consideravelmente acima da média para o período analisado. Observa-se que, a partir do mês de setembro de 2018, ocorreu uma queda significativa do consumo, o que pode indicar que defeitos hidráulicos foram corrigidos, ou também que houve alterações em processos ou variações de demanda que levaram à queda no consumo. Comportamento similar ocorre para o consumidor Industrial B, no entanto, o pico de consumo ocorre nos meses de agosto e setembro de 2019.

Para uma análise do consumo de acordo com a sazonalidade da indústria, seria necessário o monitoramento por maior tempo, a fim de permitir traçar com maior precisão a característica do consumo de água, o que também traria mais informações para validar se alterações constatadas se devem à demanda ou a vazamentos e defeitos hidráulicos.

Por fim, dadas as características de utilização de água do consumidor industrial, uma alternativa para detectar a presença de vazamentos é a medição distribuída do consumo de água, assim como funciona em um sistema de abastecimento de uma cidade. Neste caso, cada setor da unidade teria um medidor em seu ramal de alimentação (micro medidor), bem como um medidor principal no segmento de distribuição principal (macro medidor). Caso o sistema de distribuição seja estanque, isto é, sem nenhum ponto com vazamento, o volume que circulou pelo medidor principal será igual à somatória dos volumes mensurados pelos medidores de cada setor.

Além disso, com dados mais refinados é provável que se possa detectar defeitos hidráulicos que ocorrem após micromedidores, pois seria possível analisar o consumo de apenas um setor, permitindo traçar um padrão de consumo menos generalizado e

aumentando a chance de detectar paradas de consumo.

5.2.2 Análise dos dados de pressão

Conforme descrito anteriormente, a partir da análise dos dados é possível detectar a ocorrência de vazamentos nas redes de distribuição e, para isto, foram inseridos sensores de pressão nos primeiros dispositivos fabricados pela empresa. No entanto, como a empresa voltou seu foco para a venda dos medidores a clientes finais, e não para concessionárias de distribuição de água, os dados relativos à pressão passaram a ter pouca valia para a detecção de vazamentos em consumidores residenciais, uma vez que a ocorrência de sua ocorrência dentro da unidade consumidora pode ser detectada apenas utilizando dados relacionados à vazão da água. Em decorrência deste fato, a empresa optou por não mais utilizar os sensores de pressão no equipamento, dado que seu custo não corresponderia a um aumento significativo na detecção de vazamentos nos pontos consumidores. Por isso apenas dois dos conjuntos de dados disponibilizados possuem dados relacionados à pressão, por se tratar dos primeiros medidores instalados pela empresa.

Para detectar a ocorrência dos vazamentos nas redes de distribuição seriam necessários maiores conjuntos de dados de pressão, e também que um número maior de dispositivos fosse instalado na mesma rede, permitindo uma análise como a apresentada na literatura de [Bermúdez et al. \(2018\)](#), na qual são verificadas simulações para comparar a pressão em redes de distribuição de água inicialmente estanques, e em seguida com a ocorrência de vazamentos. No trabalho fica evidente que é possível detectar a ocorrência de vazamentos a partir de dados de pressão coletados ao longo de uma rede de distribuição uma vez que a pressão ao longo de parte da rede cai nas situações em que há fuga de água. Caso os medidores desenvolvidos venham a ser fornecidos para empresas de saneamento, poderá ser avaliada a possibilidade de utilizar novamente os sensores de pressão nos dispositivos a fim de permitir analisar o estado da rede de distribuição de água, visando detectar falhas no sistema e a ocorrência de vazamentos.

5.3 Conclusão parcial

Neste capítulo, com o intuito de detectar alterações nos padrões de consumo, foi realizada a análise dos padrões de consumo para consumidores de água industriais e residenciais utilizando os dados disponibilizados pela empresa financiadora do projeto. Para um consumidor residencial, constatou-se inicialmente que em determinados períodos do dia o consumo de água deve cessar, e sofre influência da rotina de cada grupo de moradores. Por outro lado, isto não ocorre para o consumidor industrial, uma vez que seu padrão de consumo é ditado pela rotina industrial, a qual pode sofrer alterações por fatores externos, como por exemplo a demanda de produção.

Para o consumidor residencial foi possível detectar a ocorrência de vazamentos através da análise do consumo de água durante o período da madrugada. Empregando-se para isto, um programa na linguagem Python, que realizava a busca por consumo contínuo durante o período das 0h às 6h. Constatou-se que para dois dos consumidores realmente ocorreu um vazamento, demonstrado pelo consumo durante a madrugada e pelo volume consumido durante todo o período se mantendo constante. No entanto, para o terceiro consumidor, mesmo ocorrendo consumo durante toda a madrugada, este não foi constante, indicando que houve uma alteração da rotina da residência.

Para os consumidores industriais, a análise por busca por consumo de água no período noturno não se mostrou eficiente, dado o ciclo de funcionamento das indústrias. Analisou-se então a variação de consumo entre os meses, na qual detectou-se para um deles uma alteração substancial no volume consumido em alguns meses, a qual não voltou a se repetir nos meses subsequentes. Isto poderia ser interpretado como um vazamento, ou conjunto de defeitos hidráulicos que foram corrigidos. Propôs-se então monitorar de modo distribuído o consumo da planta industrial, com o intuito de gerar um maior volume de dados e evitar dispositivos da rede de distribuição de água, como reservatórios que possam mascarar o padrão de consumo.

6 Conclusões

Em um cenário de crescente urbanização e necessidade de proteção ao meio ambiente, surgiu a necessidade de sistemas que permitam monitorar o consumo de água em tempo real. Tais sistemas devem permitir avaliar os padrões de consumo de consumidores industriais e residenciais, identificando utilização inconsciente de água, bem como a ocorrência de vazamentos. Para isto, foi desenvolvido um medidor automático e remoto de consumo de água.

Tal medidor coleta os dados relativos ao consumo de água e os envia a um servidor de armazenamento. Com isto é possível analisar dos padrões de consumo, permitindo a redução de perdas de água, sejam estas causadas por vazamentos ou por consumo inconsciente, uma vez que o consumidor pode acompanhar em tempo real o volume de água por ele utilizado.

Para trafegar os dados dos medidores, foi necessária a utilização de uma rede de comunicação. Dentre as avaliadas de forma teórica, a rede LoRaWAN seria a mais adequada para utilização devido ao seu longo alcance e baixo consumo energético. No entanto, dada a indisponibilidade de equipamentos para o tráfego dos dados utilizando esta rede, optou-se por utilizar uma rede Wi-Fi, que possui ampla utilização entre os consumidores de água e, conexão direta à internet. Aliados à rede, foram empregados protocolos de comunicação como TCP/IP e HTTP, que controlam o endereçamento, a transmissão da informação e a recepção dos dados por parte do servidor.

Além das redes de comunicação, outras tecnologias foram necessárias para desenvolver o medidor eletrônico de consumo de água, tais como: sistemas de aquisição de dados e sensores de pressão e vazão. Como sensores de pressão, optou-se pelo emprego de um do tipo filme espesso, com saída em tensão proporcional à pressão; e como sensor de vazão, um do tipo por turbina, com saída em pulsos, proporcional ao volume consumido. Para a leitura dos sensores foi utilizado o microcontrolador ESP12-E, o qual também possui conectividade Wi-Fi embarcada, útil para o envio dos dados ao servidor de armazenamento e processamento. Além destas tecnologias, empregou-se um banco de dados relacional, controlado pelo SGBD MariaDB e a linguagem PHP para interpretar as requisições recebidas pelo servidor, e realizar as requisições de persistências dos dados.

Dada a incompatibilidade entre os níveis de sinais aceitos pelo microcontrolador e os gerados pelos sensores, foram desenvolvidos circuitos de condicionamento de sinais empregando-se as propriedades de amplificadores operacionais. Tais circuitos mostraram-se eficientes tanto em simulação, quanto em testes de bancada, o que possibilitou o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso para acomodar tanto o microcontrolador,

quanto os circuitos de condicionamento de sinais e de alimentação dos sensores.

Implementou-se um banco de dados, bem como códigos em PHP para a recepção das informações e, através de testes realizados com o auxílio de um navegador Web, comprovou-se que os dados poderiam ser inseridos no banco de dados. Comprovada a possibilidade de recepção de requisições do tipo GET, implementou-se um código para o microcontrolador ESP12-E, com a função do envio de dados simulado para dois servidores com o mesmo código PHP, executando sistemas operacionais diferentes. Com o auxílio de um dispositivo contendo 18 microcontroladores do mesmo modelo, realizou-se o envio massivo de dados para ambos os servidores, com o intuito de comparar a estabilidade de comunicação.

Os testes mostraram perdas de dados em ambos os servidores, porém com maior intensidade no servidor baseado em Windows. Entretanto, não foi encontrada uma causa evidente para tais falhas. Optou-se então pelo emprego do servidor baseado em Linux, em especial por se tratar de um sistema operacional sem custos de licenciamento para utilização. Em seguida, validou-se a coleta de dados dos sensores empregando-se um sistema para a recirculação de água, que permitia coletar dados reais de pressão e vazão e continha um hidrômetro calibrado a fim de validar os dados adquiridos pelo sensor eletrônico. Através deste sistema, foi possível comprovar a eficácia do medidor eletrônico desenvolvido através da validação dos dados coletados entre os sensores.

A partir de conjuntos de dados disponibilizados pela Yamatec (empresa financiadora do projeto), foram realizadas análises dos padrões de consumo com o intuito de detectar vazamentos. Tais conjuntos continham dados de consumo para consumidores residenciais e industriais.

Para os dados dos consumidores residenciais foi possível observar que há períodos em que não há consumo de água, constituindo-se em um indicador da ocorrência de um vazamento o consumo constante durante estes intervalos de tempo. Para detectar tal comportamento com maior facilidade, analisou-se todo o conjunto de dados, a partir de um programa desenvolvido em linguagem Python, o qual buscava o consumo contínuo durante o período da madrugada. A análise detectou o comportamento observado em casos de vazamentos para todos os consumidores, com ocorrência em diversos dias. Foi possível diferenciar momentos de alteração de rotina e de real ocorrência de vazamento, uma vez que o primeiro se caracteriza por consumo em valores variados ao longo das horas, e o segundo por consumo com pouca ou nenhuma variação ao longo das horas.

Já para o consumidor industrial não foi possível aplicar a mesma metodologia, dada a rotina industrial em que não é usual ocorrer paradas de consumo. Aplicando o mesmo código empregado para o consumidor residencial, uma grande quantidade de datas com comportamento de vazamento foi encontrada, demonstrando que o método não é eficiente para julgar a real ocorrência. Aplicou-se então uma análise comparativa entre os

volumes consumidos mês a mês para tais dados, e observou-se que, devido a sazonalidade da indústria, o banco de dados disponível no momento não é suficiente para traçar um padrão de consumo e detectar a ocorrência dos vazamentos ou defeitos hidráulicos.

Por fim, neste trabalho foi demonstrado que através do medidor automático de água desenvolvido é possível detectar a ocorrência de vazamentos em consumidores residenciais. Através da automação da execução do algoritmo de busca por consumo contínuo, e inserindo nele uma comparação entre os volumes consumidos nos intervalos de tempo, pode-se aumentar a assertividade da detecção, gerando informações para alertar os consumidores em menor tempo, e uma ação corretiva seja tomada com maior agilidade, reduzindo a tarifação e principalmente o desperdício de água.

6.1 Propostas de trabalhos futuros

Propõe-se para trabalhos futuros a alteração do algoritmo de busca por consumo contínuo, para que ele possa receber informações inseridas pelo consumidor, como horários em que é usual que haja circulação de pessoas na residência, de modo que exista um maior número de intervalos sem consumo a ser analisado. Além disto, a partir do emprego de técnicas de aprendizado de máquina, detectar alterações nos padrões de consumo e indicadores de utilização inconsciente. O desenvolvimento de aplicativo para dispositivos móveis, em que o consumidor possa acessar suas informações e receber alertas de anomalias também é uma proposta a ser incentivada.

No tocante a segurança da informação, sugere-se a alteração do programa do medidor para que ele realize outro tipo de requisição HTTP, como a POST, a qual não trafega o dado diretamente em URL, mas no corpo da requisição. E ainda o emprego de criptografia sobre os dados coletados, para dificultar a ocorrência de acessos indevidos à informação de consumo.

Além disso, mantendo a comunicação Wi-Fi, pode-se evoluir o medidor para que não use mais o protocolo HTTP, mas a tecnologia MQTT, a qual permite comunicação bidirecional, permitindo, por exemplo, o controle remoto de periféricos do medidor (válvulas etc.).

Finalmente, para o consumidor industrial propõe-se uma metodologia alternativa, empregando a medição distribuída do consumo no interior da planta. Tal medição deverá permitir cruzar o valor mensurado pelo medidor principal, com a somatória do volume consumido por cada micromedidor, permitindo assim validar a estanqueidade do sistema. Tal metodologia também permitiria acompanhar o comportamento de cada setor da indústria, aumentando a amostragem e facilitando a detecção da ocorrência de vazamentos, reduzindo a área em que o mesmo deve ser buscado.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAHI, S. I.; MALIK, N. A.; HABAEBI, M. H.; SALAMI, A. B. Miniaturized turbine flow sensor: Design and simulation. In: *7th International Conference on Computer and Communication Engineering*. IEEE, 2018. p. 38–43. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8539323&isnumber=8539238>>. Acesso em: 26 mar. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 37.
- AI-THINKER TECHNOLOGY CO., LTD. *ESP-01/07/12 Series Modules User's Manual*. Shenzhen ,China, 2017. Disponível em: <http://wiki.ai-thinker.com/_media/esp8266/esp8266_series_modules_user_manual_v1.1.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 54.
- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, v. 22, p. 2015, 02 2015. Citado na página 23.
- ALKASSEH, J.; ADLAN, M. N.; ABUSTAN, I.; AZIZ, H.; HANIFS, A. Applying minimum night flow to estimate water loss using statistical modeling: A case study in kinta valley, malaysia. *Water Resources Management*, v. 27, 03 2013. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. *Water Meters: Selection, installation, testing, and maintenance*. 5rd. ed. E.U.A., 2012. Disponível em: <http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2018/04/AWWA_M6_Water_Meters_Selection.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 34, 35, 36 e 37.
- ARAD. *Octave Release 4.02: Ultrasonic water meters*. Israel, 2018. Disponível em: <https://arad.co.il/assets/Octave-SP_071118.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5626: Rede predial de água fria*. Rio de Janeiro, 1998. 41 p. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 212: Medidores velocimétricos de água potável fria até 15 m³/h*. Rio de Janeiro, 1999. 41 p. Citado na página 35.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro, 2017. 29 p. Citado na página 32.
- BAHL, S.; CHANDRA, P.; RATHORE, V.; SHUKLA, A.; GARG, A. Wireless ethernet for iot: A case study. In: *2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6. Citado na página 40.
- BANNATYNE, R.; VIOT, G. Introduction to microcontrollers. i. In: *Wescon/98. Conference Proceedings (Cat. No.98CH36265)*. [S.l.: s.n.], 1998. p. 350–360. ISSN 1095-791X. Citado na página 52.

BARROS FILHO, M. B. B. *Desenvolvimento de Sistema de Geoinformação como Suporte ao Gerenciamento das Redes de Distribuição água*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005. Citado na página 32.

BERMÚDEZ, J. R.; LÓPEZ-ESTRADA, F.; BESANÇON, G.; VALENCIA-PALOMO, G.; L.TORRES; HERNÁNDEZ, H. Modeling and simulation of a hydraulic network for leak diagnosis. *Mathematical and Computational Applications*, MDPI AG, v. 23, n. 4, p. 70, Nov 2018. ISSN 2297-8747. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/mca23040070>>. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 86.

BRASIL. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015*. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 04 mar. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.

BRASIL. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016*. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 04 mar. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 37.

BRASIL. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017*. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 26 mar. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 33.

CCM BENCHMARK GROUP. *Ethernet*. Paris, França, 2017. Disponível em: <<https://br.ccm.net/contents/673-ethernet>>. Acesso em: 31 jan. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

CHEN, J.; CHENG, W. Analysis of web traffic based on http protocol. In: *2016 24th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–5. ISSN 1847-358X. Citado na página 55.

CISCO SYSTEMS, INC. *TCP/IP Technology*. San Jose, CA, EUA, 2005. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/routing-information-protocol-rip/13769-5.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2020. Citado na página 55.

CRAINIC, M. S. A short history of residential water meters: Part I mechanical water meters with moving parts. In: *Installations for Buildings and Ambient Comfort Conference XXI - edition*. Timisoara, Romenia: [s.n.], 2012. p. 27 –35. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.

CRAINIC, M. S. A short history of residential water meters part ii mechanical water meters with no moving parts: Part II mechanical water meters with no moving parts. In: *Installations for Buildings and Ambient Comfort Conference XXI - edition*. Timisoara, Romenia: [s.n.], 2012. p. 36 –43. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.

DALL’OGLIO, P. *PHP Programando com Orientação a Objetos*. 3rd. ed. [S.l.]: NOVATEC, 2015. ISBN 9788575224656. Citado na página 55.

DATE, C. J. *Introdução a sistemas de bancos de dados*. ELSEVIER EDITORA, 2004. ISBN 9788535212730. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=xBeO9LSIK7UC>>. Citado na página 55.

- DERENCIO, R. *Qual é o princípio de funcionamento de um transmissor de pressão resistivo?* WIKA DO BRASIL Indústria e Comércio Ltda., 2016. Disponível em: <<https://blog.wika.com.br/know-how/os-principios-de-medicao-mais-comuns-para-sensores-de-pressao/>>. Acesso em: 15 dez. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.
- DERENCIO, R. *Os princípios de medição mais comuns para sensores de pressão: thin-film, thick-film e sensores piezoresistivos.* WIKA DO BRASIL Indústria e Comércio Ltda., 2018. Disponível em: <<https://blog.wika.com.br/know-how/os-principios-de-medicao-mais-comuns-para-sensores-de-pressao/>>. Acesso em: 15 dez. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.
- DEVMEDIA. *Guia Completo de Python.* 2020. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/guia/python/37024>>. Acesso em: 10 abr. 2020. Citado na página 55.
- ELMASRI, R.; NAVATHE., S. B. *Sistemas de banco de dados.* 6. ed. [S.l.]: PEARSON BRASIL, 2011. ISBN 9788579360855. Citado na página 55.
- ESPRESSIF SYSTEMS SHANGAI CO. LTD. *ESP8266EX.* Pudong, Shanghai, China, 2019. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview>>. Acesso em: 02 jan. 2020. Citado na página 53.
- ESPRESSIF SYSTEMS SHANGAI CO. LTD. *ESP8266EX: Datasheet.* Pudong, Shanghai, China, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 61.
- ESPRESSIF SYSTEMS SHANGAI CO. LTD. *ESP8266EX Modules: Single-core modules with 802.11b/g/n 2.4 ghz wi-fi.* Pudong, Shanghai, China, 2019. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/hardware/modules>>. Acesso em: 02 jan. 2020. Citado na página 53.
- FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. *MC78XX/LM78XX/MC78XXA: 3-terminal 1a positive voltage regulator.* Sunnyvale, California, EUA, 2001. Citado na página 72.
- FARAH, E.; SHAHROUR, I. Smart water for leakage detection: Feedback about the use of automated meter reading technology. In: *2017 Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET).* [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–4. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 46.
- FILIPEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS LTDA. *Módulo WiFi ESP8266 ESP-12E.* Florianópolis, SC, 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp8266-esp-12e/>>. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado na página 53.
- FILIPEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS LTDA. *Módulo WiFi ESP8266 ESP-01.* Florianópolis, SC, 2020. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp8266-esp-01/>>. Acesso em: 07 jan. 2020. Citado na página 53.
- FUELTECH. *PS-10B Pressure Sensor (0-10 bar).* 2020. Disponível em: <<https://www.fueltech.net/products/ps-10b-pressure-sensor>>. Acesso em: 11 out. 2020. Citado na página 50.
- GALVÃO, J. R. B. *Avaliação da relação pressão x consumo em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão: Estudo de caso: rede de distribuição de água na região metropolitana de são paulo.* Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Instituto Politécnico de Bragança, São Paulo, 2007. Citado na página 32.

GAMBOA-MEDINA, M. M. *Detecção de vazamentos e alterações em redes de distribuição de água para abastecimento, durante a operação, usando sinais de pressão*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27102017-095158/publico/TeseMedinaMariaMercedesGamboaCorrig.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2019. Citado na página 27.

GHARAIBEH, A.; SALAHUDDIN, M. A.; HUSSINI, S. J.; KHREISHAH, A.; KHALIL, I.; GUIZANI, M.; FUQAHA, A. A. Smart cities: A survey on data management, security, and enabling technologies. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 19, n. 4, p. 2456–2501, Fourthquarter 2017. ISSN 1553-877X. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. d.; SILVA, L. D. B. d. *Saneamento Básico*. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/ApostilaIT179/Capa.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2019. Citado na página 32.

HASSAN, F. A. Water management and early civilizations: From cooperation to conflict. In: HASSAN, F. A.; REUSS, M.; TROTTIER, J.; BERNHARDT, C.; WOLF, A.; MOHAMED-KATERERE, J. (Ed.). *History and future of shared water resources*. UNESCO, 2003. p. 114–128. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000133286>>. Acesso em: 20 mar. 2019. Citado na página 31.

HERRICK, J. F.; ANDERSON, J. A. Ultrasonic flowmeters an ultrasonic flowmeter. *IRE Transactions on Medical Electronics*, ME-6, n. 4, p. 195–197, Dec 1959. ISSN 0097-1049. Citado na página 38.

HIERTZ, G. R.; DENTENEER, D.; STIBOR, L.; ZANG, Y.; COSTA, X. P.; WALKE, B. The iee 802.11 universe. *IEEE Communications Magazine*, v. 48, n. 1, p. 62–70, January 2010. ISSN 1558-1896. Citado na página 42.

HSIA, S. C.; HSU, S. W.; CHANG, Y. J. Remote monitoring and smart sensing for water meter system and leakage detection. *IET Wireless Sensor Systems*, v. 2, n. 4, p. 402–408, 2012. Citado na página 46.

IKPEHAI, A.; ADEBISI, B.; KHAREL, R. Smart street lighting over narrowband plc in a smart city: The triangulum case study. In: *2016 IEEE 21st International Workshop on Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 242–247. Citado na página 41.

KABALCI, Y. A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 57, p. 302 – 318, 2016. ISSN 1364-0321. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115014975>>. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

LAO INDÚSTRIA. *Hidrômetros Linha 9000*: Multijato magnético com saída de sinal. 1rd. ed. Osasco, SP, 2010. Disponível em: <<http://laointustria.com.br/images/uploads/multijatosinal%202010.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2019. Citado na página 37.

LIN, Y.; LATCHMAN, H. A.; LEE, M.; KATAR, S. A power line communication network infrastructure for the smart home. *IEEE Wireless Communications*, v. 9, n. 6, p. 104–111, Dec 2002. Citado na página 41.

- LORA ALLIANCE, INC. *LoRaWAN Regional Parameters*. Fremont, CA, 2019. Disponível em: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2020-01/rp_2-1.0.0_final_release.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2020. Citado na página 43.
- MACKENZIE, I. S. *The 8051 Microcontroller*. 3rd. ed. USA: Prentice Hall PTR, 1998. ISBN 0137800088. Citado na página 52.
- MALA-JETMAROVA, H.; BARTON, A.; BAGIROV, A. A history of water distribution systems and their optimisation. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 1, n. 15, p. 224–235, 2014. Disponível em: <<https://iwaponline.com/ws/article-abstract/15/2/224/27437/A-history-of-water-distribution-systems-and-their?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso em: 20 mar 2017. Citado na página 31.
- MARÇURA, J. *O protocolo TCP/IP*. 2019. Disponível em: <<https://medium.com/@joaomarcuraa/o-protocolo-tcp-ip-1dc2cdb88b07>>. Acesso em: 13 mar. 2020. Citado na página 55.
- MARTINS, T. J. *Sistemas de Abastecimento de Água para Consumo Humano – Desenvolvimento e Aplicação de Ferramenta Informática para a sua Gestão Integrada*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Instituto Politécnico de Bragança, 2014. Citado na página 32.
- MAYS, L. Water technology in ancient egypt. In: _____. *Ancient Water Technologies*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 53–65. ISBN 978-90-481-8631-0. Citado na página 33.
- MAYS, L.; KOUTSOYIANNIS, D.; ANGELAKIS, A. A brief history of urban water supply in antiquity. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 1, n. 7, p. 1–12, 2007. Disponível em: <<https://iwaponline.com/ws/article-abstract/7/1/1/26263>>. Acesso em: 20 mar 2017. Citado na página 31.
- MELEXIS MICROELECTRONIC INTEGRATED CIRCUITS. *Inspeção de Sistemas de Medição de Gás Natural: Medição de vazão*. Ypres, Bélgica, 2006. Disponível em: <http://ead2.ctgas.com.br/a_rquivos/inspecao_sistemas_de_gas/Medicao_Vazao/Mod_4_-_Desafio_3_-_Principios_de_Operacao_PDF.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2019. Citado na página 51.
- MELO, M. G. F. N. Alexandre Altair de. *PHP Profissional*. Novatec, 2017. Disponível em: <<http://www.martinsfontespaulista.com.br/anexos/produtos/capitulos/254880.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2020. Citado na página 55.
- MONTEIRO, L. N.; SALVAGNINI, F. C. R.; NUNES, V. A. *Sistema De Identificação De Vazamentos De água Não-Visíveis Por Análise De Espectrograma*. Monografia (Trabalho de Graduação) — Facens, Sorocaba, São Paulo, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 24, 25, 26 e 45.
- MOZILLA CONTRIBUTORS. *An overview of HTTP*. 2012. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Overview>>. Acesso em: 13 mar. 2020. Citado na página 55.
- NASCIMENTO, C. R.; SANTOS, D.; SILVEIRA, L. M.; PERDIGUEIRO, M.; SANTOS, R. F. *Redes Wi-Fi: O padrão ieee 802.11n*. Santa Maria, RS, 2015. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifiieee/default.asp>>. Acesso em: 08 dez. 2020. Citado na página 42.

NASCIMENTO, R. B. *Análise e gerenciamento de redes de Distribuição de água com suporte em Sistema de Informações Geográficas*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. *O que é condicionamento de sinal?* 2019. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/09/what-is-signal-conditioning-.html>>. Acesso em: 1 mar. 2020. Citado na página 57.

NAZMUDEEN, M. S. H.; WAN, A. T.; BUHARI, S. M. Improved throughput for power line communication (plc) for smart meters using fog computing based data aggregation approach. In: *2016 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–4. Citado na página 41.

NOVA SMAR S/A. *Medição de pressão: Características, tecnologias e tendências*. Nova Smar S/A, 2019. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sistemas-de-supervisao-e-aquisicao-de-dados>>. Acesso em: 14 dez. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.

OKAI, E.; FENG, X.; SANT, P. Smart cities survey. In: *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1726–1730. Citado na página 23.

PASE HIDROMETRIA. *Medidor de Vazão Ultrassônico*. Curitiba, 2018. Disponível em: <<https://www.pasehidro.com.br/produtos/medidor-de-vazao-ultrassonico/>>. Acesso em: 20 abr. 2019. Citado na página 39.

PELLICER, S.; SANTA, G.; BLEDA, A. L.; MAESTRE, R.; JARA, A. J.; SKARMETA, A. G. A global perspective of smart cities: A survey. In: *2013 Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 439–444. Citado na página 23.

PREMIER CONTROL TECHNOLOGIES LTD. *Krohne Electromagnetic Flow Meter Optiflux 4000*. Wymondham, Norfolk, 2018. Disponível em: <<https://www.pctflow.com/our-products/flow-meters/electromagnetic/krohne-electromagnetic-flow-meter-optiflux-4000/>>. Acesso em: 20 abr. 2019. Citado na página 38.

PYTHON. *The Python Wiki*. 2020. Disponível em: <<https://wiki.python.org/moin/FrontPage>>. Acesso em: 10 abr. 2020. Citado na página 55.

RABIE, K. *Advances in Power Line Communication and its Applications*. Inglaterra, 2019. Online. Disponível em: <<https://ieeaccess.ieee.org/special-sections-closed/advances-in-power-line-communication-and-its-applications/>>. Acesso em: 7 nov. 2019. Citado na página 41.

RABUSKE, M. H. B. *Estudo do Protocolo LoraWAN e Implementação de Uma Rede Privada com Nós Distribuídos*. Santa Maria, RS: [s.n.], 2017. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.

- RAJITA, G.; MANDAL, N. Review on transit time ultrasonic flowmeter. In: *2016 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy Communication (CIEC)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 88–92. Citado na página 39.
- REYES, J.; ACEVEDO, A. Modeling and simulation of ultrasonic flow meters: State of art. In: *2010 IEEE ANDESCON*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–7. Citado na página 38.
- SCHULTZ, W.; JAVEY, S.; SOROKINA, A. Smart water meters and data analytics decrease wasted water due to leaks. *Journal AWWA*, v. 110, n. 11, p. E24–E30, 2018. Disponível em: <<https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/awwa.1124>>. Citado na página 45.
- SEDRA, A. S.; SMITH, K. *Microeletrônica*. [S.l.]: PRENTICE HALL BRASIL, 2007. ISBN 9788576050223. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 60.
- SEED TECHNOLOGY. *Water Flow Sensor YF-B6*. 2020. Disponível em: <<https://www.seeedstudio.com/Water-Flow-Sensor-YF-B6-p-2883.html>>. Acesso em: 11 out. 2020. Citado na página 51.
- SEMICONDUCTOR COMPONENTS INDUSTRIES, LLC. *TIP41, TIP41A, TIP41B, TIP41C (NPN); TIP42, TIP42A, TIP42B, TIP42C (PNP)*: Complementary silicon plastic power transistors. Denver, Colorado, EUA, 2007. Citado na página 72.
- SEMRAD. *Niagara Meters Nutating Disc Flow*. Caringbah, Australia, 2018. Disponível em: <<http://www.semrad.com.au/products/flow-meters/niagara-meters-nutating-disc-flow>>. Acesso em: 08 abr. 2019. Citado na página 35.
- SEMTECH CORPORATION. *LoRa Academy: Module 2: Lora and lorawan*. EUA, 2020. Disponível em: <<https://lora-developers.semtech.com/resources/lorawan-academy/courses/>>. Acesso em: 30 mar. 2020. Citado na página 43.
- SILVA, N. R. *Estudo de metodologias para avaliação de submedição de hidrômetros domiciliares em sistemas de água*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008. Citado na página 36.
- SITTONI, A.; BRUNELLI, D.; MACII, D.; TOSATO, P.; PETRI, D. Street lighting in smart cities: A simulation tool for the design of systems based on narrowband plc. In: *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–6. Citado na página 41.
- SOMMER, J.; GUNREBEN, S.; FELLER, F.; KOHN, M.; MIFDAOUI, A.; SASS, D.; SCHARF, J. Ethernet – a survey on its fields of application. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 12, n. 2, p. 263–284, 2010. Citado na página 40.
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. *Sensores Industriais: Fundamentos e aplicações*. 4rd. ed. São Paulo: Ed. Érica, 2005. Citado na página 51.
- TP-LINKS. *Kit Extensor de Alcance WiFi Powerline, Edição 300Mbps WiFi e AV 600Mbps: TL-wpa4220kit*. Brasil, 2019. Online. Disponível em: <<https://www.tp-link.com/br/home-networking/powerline/tl-wpa4220kit/#overview>>. Acesso em: 7 nov. 2019. Citado na página 41.

U. S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. *Water Measurement Manual: A guide to effective water measurement practices for better water management*. 3rd. ed. Washington, DC, 2001. Disponível em: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/WMM_3rd_2001.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019. Citado na página 33.

UNSAL, D.; YALCINOZ, T. Applications of new power line communication model for smart grids. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, v. 7, p. 168–178, 01 2015. Citado na página 41.

VENDEMIATTI, C. *Sistema para monitoramento de consumo e vazamento de água em tempo real*. Monografia (Trabalho de Graduação) — Unesp - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, São Paulo, 2018. Citado 5 vezes nas páginas 24, 26, 68, 69 e 71.

VENDEMIATTI, C. *Water meter codes*. 2020. Disponível em: <<https://github.com/caiquevendemiatti/waterMeter>>. Acesso em: 08 dez. 2020. Citado 4 vezes nas páginas 65, 67, 68 e 77.

VENTURI, L. Recurso natural: A construção de um conceito. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, n. 20, p. 09–17, abr. 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/74004>>. Acesso em: 09 abr. 2019. Citado na página 24.

WALSKY, T. A history of water distribution. *Water Science and Technology: Water Supply*, AWWA, v. 98, n. 3, p. 110+121, 2006. Disponível em: <<https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/j.1551-8833.2006.tb07611.x>>. Acesso em: 20 mar 2017. Citado na página 31.

WARKENTIN, D. F.; BENEDITO, D. *Análise comparativa entre rede cabeada e rede wireless*. Curitiba, Paraná: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9987/1/CT_COTEL_2015_1_4.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2019. Citado na página 40.

WHITE, F. M. *Fluid Mechanics*. 5rd. ed. Rhode: McGraw-Hill, 2007. Citado na página 32.

WIFI ALLIANCE. *20 Years of Wi-Fi*. Austin, Texas, EUA, 2019. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/20-years-of-wi-fi>>. Acesso em: 26 jan. 2020. Citado na página 42.

WIFI ALLIANCE. *Wi-Fi CERTIFIED 6*. Austin, Texas, EUA, 2020. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>>. Acesso em: 26 jan. 2020. Citado na página 42.

WIFI ALLIANCE. *Wi-Fi Generations*. Austin, Texas, EUA, 2020. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>>. Acesso em: 26 jan. 2020. Citado na página 42.

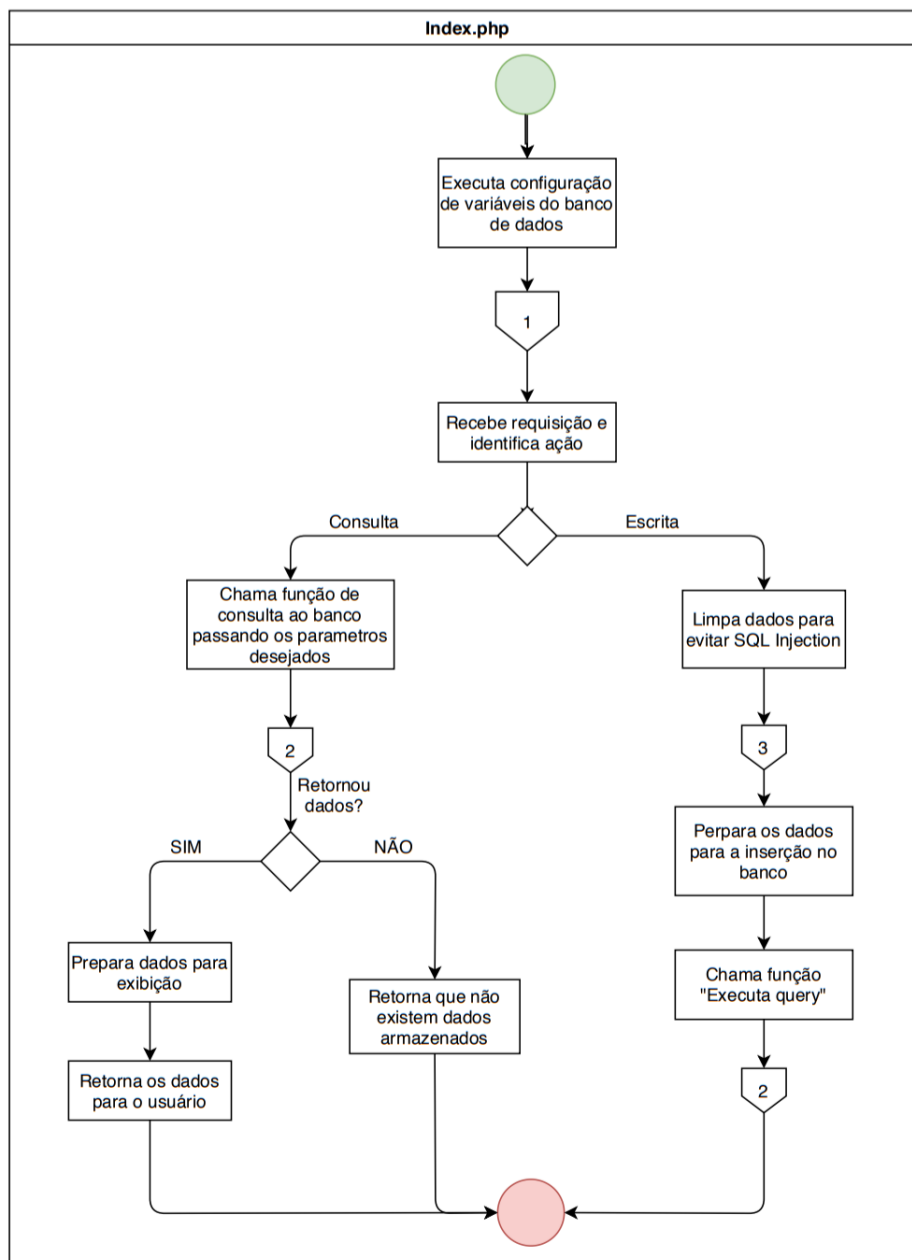
YIN, C.; XIONG, Z.; CHEN, H.; WANG, J.; COOPER, D.; DAVID, B. A literature survey on smart cities. *Science China Information Sciences*, v. 58, n. 10, p. 1–18, Oct 2015. Citado na página 23.

YUMING, X.; ZHIQIANG, X. Electromagnetic flowmeter measurement and numerical computation of laminar flow transport pipeline flow quantity. In: *2009 Second International Symposium on Electronic Commerce and Security*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 2, p. 169–173. Citado na página 38.

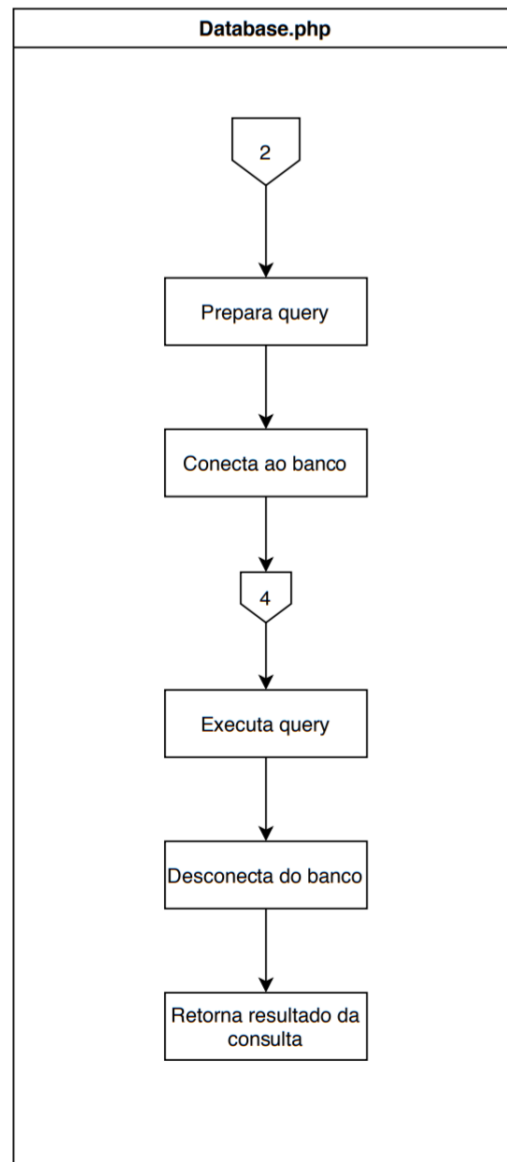
APÊNDICES

APÊNDICE A – Diagrama de Blocos códigos PHP

Figura A.1 – Diagrama de blocos do código Index.php.

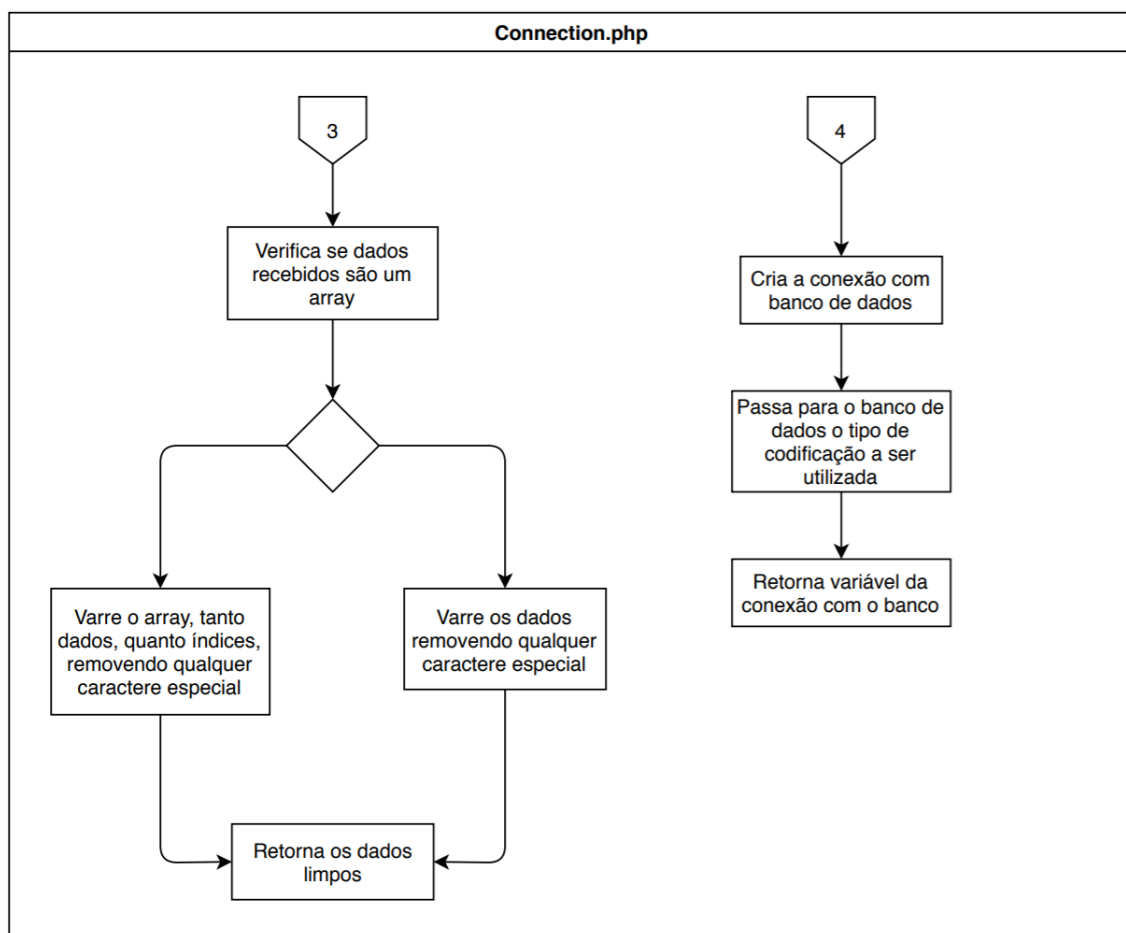


Fonte: Autoria própria

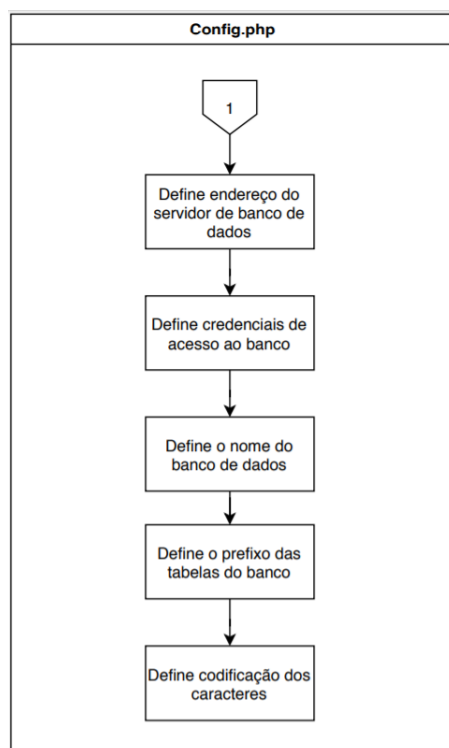
Figura A.2 – Diagrama de blocos do código Database.php.

Fonte: Autoria própria.

Figura A.3 – Diagrama de blocos do código Connection.php.



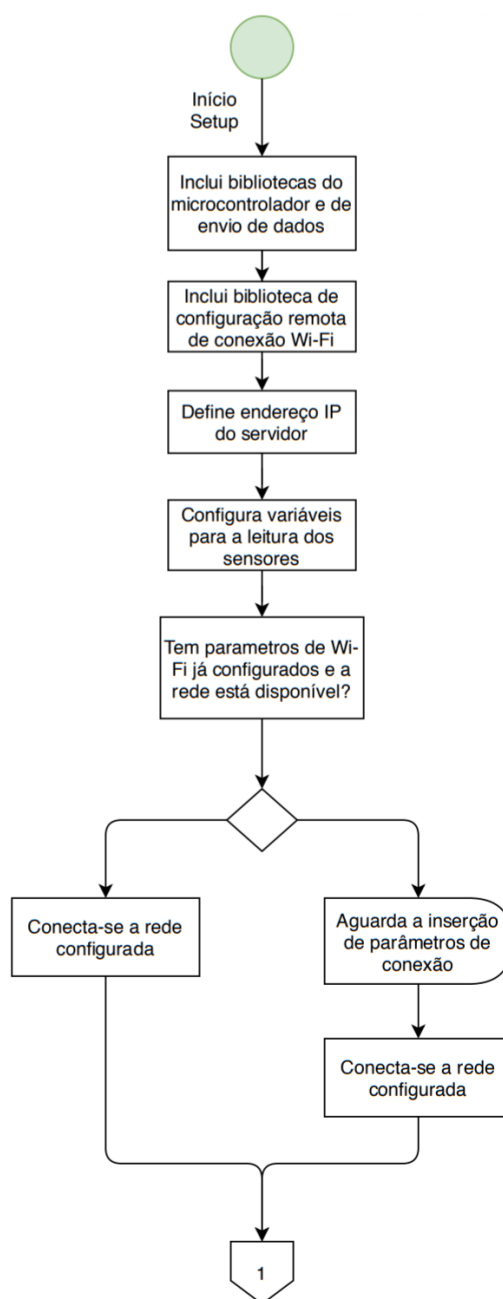
Fonte: Autoria própria.

Figura A.4 – Diagrama de blocos do código Config.php.

Fonte: Autoria própria.

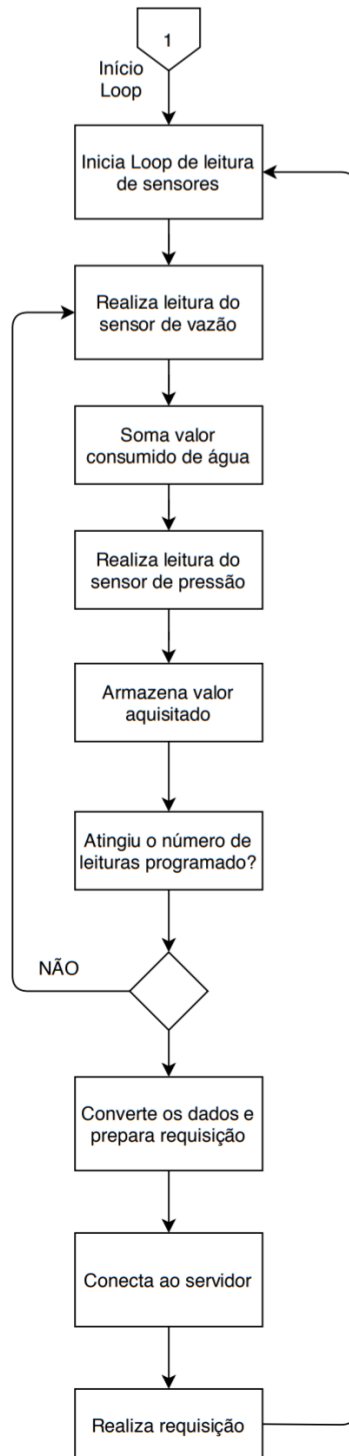
APÊNDICE B – Diagrama de Blocos código Microcontrolador

Figura B.1 – Diagrama de blocos código implementado para envio dados com a leitura dos sensores, página 1.



Fonte: Autoria própria.

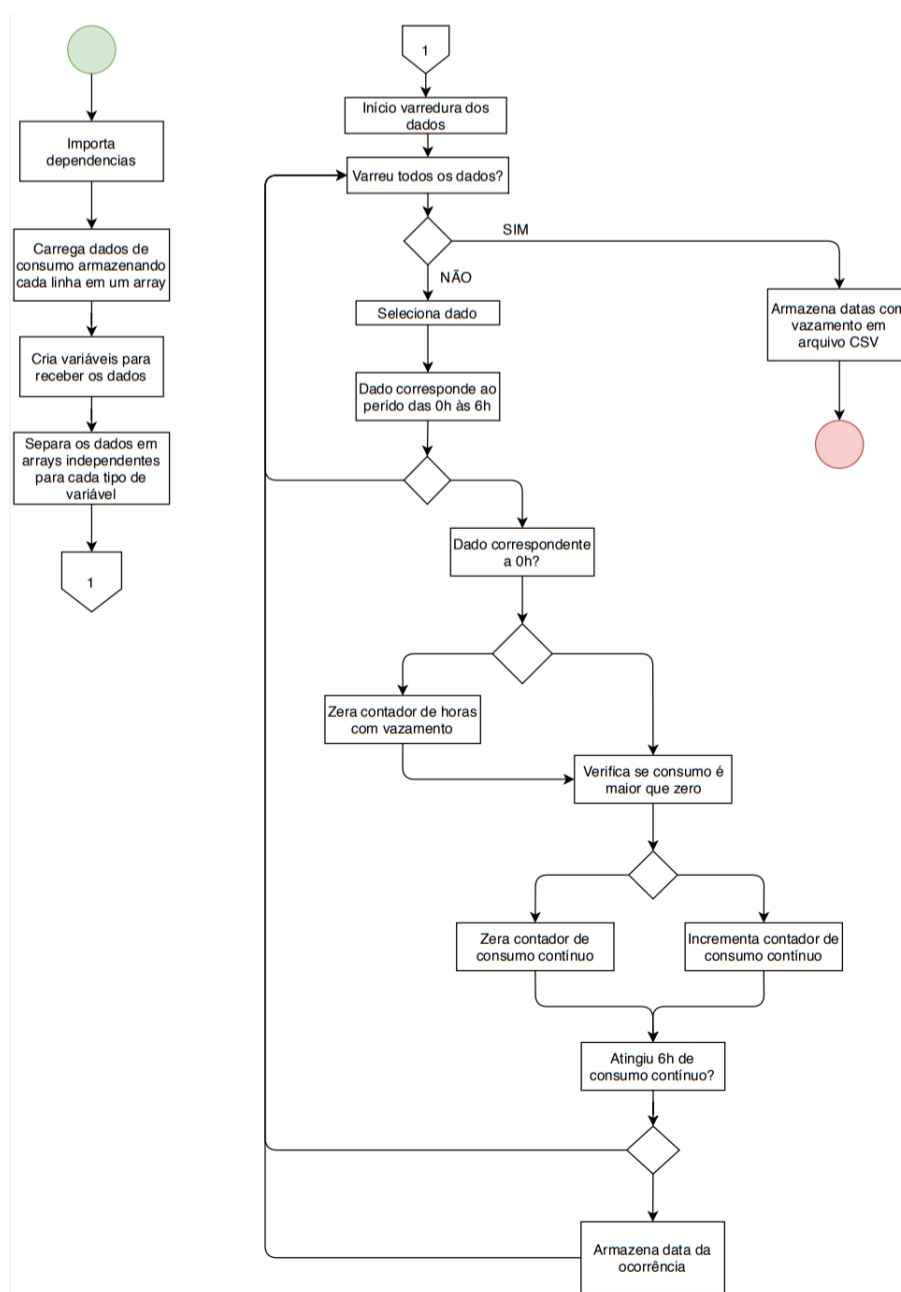
Figura B.2 – Diagrama de blocos código implementado para envio dados com a leitura dos sensores, página 2.



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE C – Diagrama de blocos do código de busca por vazamentos

Figura C.1 – Diagrama de blocos código implementado realizar a busca por consumo contínuo no período da madrugada.



Fonte: Autoria própria.