

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

TATIANY KEIKO MORI

**AUTOMATIZAÇÃO DA MEDIÇÃO HÍDRICA EM UNIDADES
HABITACIONAIS CONDOMINIAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO
2021

TATIANY KEIKO MORI

AUTOMATIZAÇÃO DA MEDIÇÃO HÍDRICA EM UNIDADES HABITACIONAIS CONDOMINIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson José de Lima
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Coorientadora: Profa. Dra. Kathya Silvia Collazos Linares
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO
2021

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

AUTOMATIZAÇÃO DA MEDIÇÃO HÍDRICA EM UNIDADES HABITACIONAIS CONDOMINAIS.

Por
Tatiany Keiko Mori

Monografia apresentada às 15 horas 40 min. do dia 17 de agosto de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia da Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Teixeira	Membro
Prof. Dr. Ricardo Bernardi	Membro
Profa. Dra. Kathya Silvia Collazos Linares	Co-orientadora
Profa. Dra. Viviane Dal Molin de Souza	Professor(a) responsável TCCII

AGRADECIMENTOS

Ao longo dessa jornada que foi a UTFPR até este momento, minha eterna gratidão aos que de alguma forma colaboraram para o que foi meu crescimento pessoal e profissional durante a graduação. Palavras não aplacam tudo que tenho a lhes dizer.

À minha amada e querida avó Maria Coltre, que como uma mãe sempre esteve ao meu lado e quem eu tristemente perdi durante a graduação. Uma mulher que fez parte dos meus primeiros passos e a quem eu amava muito.

À minha mãe, Dalila, luz e grande inspiração da minha vida que nunca me deixou desistir da caminhada, sempre demonstrando apoio incondicional. Você sempre é meu objeto de orgulho e é quem me faz querer ser uma pessoa melhor. Te amo mãe.

Ao meu pai, Sergio, que sempre me apoiou a ser uma pessoa melhor mesmo nos momentos difíceis. Que sempre me apoiou incondicionalmente, é por ele que levo tudo que começo até o fim, mesmo que isso demore um pouco. Obrigada, pai, você é um ser humano incrível. Te amo.

Ao meu irmão Massanori por ser meu norte e a única família próxima em uma cidade distante. Sempre meu ouvido amigo.

Aos meus irmãos, Lucas, Miwa, Sophie, Giovanna e Henrique. Que são quem estão sempre comigo mesmo a distância.

À minha avó Miwako Mori, pelos valores que eu carrego, o respeito e a perseverança. E a todos os meus familiares tão presentes na minha vida.

Ao meu grande parceiro nas aulas e meu grande apoiador Anderson Rodrigues, ter você nessa longa caminhada ajudou tornar menos exaustivo os dias de estudo.

Aos meus amigos Erivelto Muller, Vinicius Tartari e Kevin Guimarães. Que fizeram das tardes na V009 intervalos de muitas risadas e planejamento.

À todas as amigas que fiz nesta jornada Jessica Amorim, Karine Assmann, Aléxia Ferro, Isabella Brito, Camila Grosbelli, Daryane Gaulik, Nathalia Torres, Nathana Dalmasso, Jannaina Munaretto e Janaina Marques. Que tornaram dos meus dias menos solitários e fizeram deles momentos de alegria.

À profa. Ms. Mainara Cristina Lorencena pela disposição e afinho no desenvolvimento no início deste trabalho. Imensamente grata pelo apoio e atenção.

À profa. Dra. Kathya Linares pelo apoio no final do desenvolvimento deste trabalho, sempre uma professora excepcional, que sempre quer o melhor de nós, meros alunos.

E por fim, não menos importante ao Prof. Dr. Jeferson José de Lima, pela orientação e disposição até finalizarmos este trabalho. Definitivamente seu apoio para a conclusão deste foi primordial.

Quando algo é importante o suficiente, você realiza, mesmo que as chances não estejam a seu favor. (MUSK, Elon)

RESUMO

MORI, Tatianny. Automatização da medição hídrica em unidades habitacionais condominiais. 2021. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

Por ser a água um recurso limitado e devido ao aumento da população no meio urbano, caso não haja um controle no consumo de água, haverá em um futuro próximo, riscos de escassez hídrica. Com relação ao controle do consumo de água, o que temos no modelo atual aplicado às unidades habitacionais é que o morador apenas observa tão somente seu consumo mensal, sendo este visualizado, ou pelo relógio do hidrômetro, ou pela própria fatura, não sendo rotina a visualização gráfica ou até quantitativa da utilização de água no seu dia-a-dia. Para muitos, obter esse controle de consumo diariamente pode se tornar desgastante e algo difícil de se adaptar a rotina. Assim, o objetivo central do trabalho é trazer uma solução para o controle no consumo de água no que tange às unidades habitacionais do condomínio de modo a evitar desperdícios. Propõe-se, assim, apresentar um dispositivo eletrônico de sensoriamento de baixo custo, que será acoplado a rede de abastecimento hídrico de todas as unidades habitacionais do condomínio, proporcionando ao morador da residência a possibilidade de manter controle do seu próprio consumo. Será desenvolvida e disponibilizada uma API para ser possível realizar a integração com sistemas de gerenciamento condominial e, a partir do monitoramento do consumo de água, o sistema identificará alterações significativas, como vazamentos, enviando um alerta, ao morador e ao condomínio. Sob essa ótica, todo processo de coleta de dados será automatizado, gerando segurança e economia aos condomínios e evitando consumo excessivo desnecessário.

Palavras-chave: Monitoramento hídrico. Análise de consumo. Hidrometro automatizado. Consumo de água.

ABSTRACT

MORI, Tatiany. . 2021. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

As water is a limited resource and due to the increase in population in urban areas, if there is no control over water consumption, there will be risks of water scarcity in the near future. Regarding the control of water consumption, what we have in the current model applied to housing units is that the resident only observes their monthly consumption, which is displayed, either by the hydrometer clock, or by the bill itself, and it is not routine to graphic or even quantitative visualization of the use of water in your daily life. For many, getting this consumption control on a daily basis can become exhausting and difficult to adapt to the routine. Thus, the main objective of the work is to bring a solution to control water consumption in the condominium's housing units in order to avoid waste. It is proposed, therefore, to present a low-cost electronic sensing device, which will be coupled to the water supply network of all housing units in the condominium, providing residents with the possibility of keeping control of their own consumption. An API will be developed and made available to make it possible to integrate with condominium management systems and, from the monitoring of water consumption, the system will identify significant changes, such as leaks, sending an alert to the resident and the condominium. From this perspective, the entire data collection process will be automated, generating security and savings for condominiums and avoiding unnecessary excessive consumption.

Keywords: Water monitoring. Consumption analysis. Automated hydrometer. Water consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Blocos do protótipo	2
Figura 2 – Hidrômetro	4
Figura 3 – Mecanismo de relojoaria	4
Figura 4 – Efeito <i>Hall</i>	5
Figura 5 – Visão geral do protocolo MQTT	7
Figura 6 – Estrutura do dado InfluxDB	8
Figura 7 – Comunicação com banco de dados através de API	9
Figura 8 – Sensor de fluxo YF-201	10
Figura 9 – Microcontrolador Espressif ESP32	11
Figura 10 – Diagrama de blocos funcional do ESP32	12
Figura 11 – Visão geral do trabalho	14
Figura 12 – Pulsos x Vazão	16
Figura 13 – Esquemático da montagem do dispositivo	17
Figura 14 – Diagrama de fluxo da conexão Wi-fi	18
Figura 15 – Comunicação do Broker com o sensor e o banco de dados	19
Figura 16 – Sintaxe para envio dos dados ao InfluxDB	21
Figura 17 – Integração entre o <i>Broker</i> e o banco de dados	21
Figura 18 – Exemplo de painel de controle com o Grafana	22
Figura 19 – Seleção da linguagem de consulta ao banco	23
Figura 20 – Cadastro do endereço do banco de dados	23
Figura 21 – Inserção dos dados de acesso ao banco de dado	23
Figura 22 – Comunicação com banco de dados através de API	24
Figura 23 – Gráfico de consumo da unidade habitacional	27
Figura 24 – Gráfico de consumo da unidade habitacional	28
Figura 25 – Dashboard	29
Figura 26 – Gráfico de consumo com o alerta	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Configuração do GPIO	17
Quadro 2 – Código da função publish do MQTT	20
Quadro 3 – Log do Broker	26
Quadro 4 – Consulta ao banco de dados	27
Quadro 5 – Consulta do consumo da unidade habitacional	28
Quadro 6 – Consulta do consumo da unidade habitacional	28
Quadro 7 – Consulta do consumo da unidade habitacional	29
Quadro 8 – URL para requisição de dados	30
Quadro 9 – Retorno do GET da requisição na API	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação das tecnologias utilizadas e o uso das portas configuradas	13
Tabela 2 – Tabela de amostras para calibragem do sensor	15
Tabela 3 – Cotação de medidores de fluxo comerciais	31
Tabela 4 – Cotação do Protótipo	32
Tabela 5 – Comparativo entre Electronic turbine meter K24 e o Protótipo do Hidrômetro Digital	32
Tabela 6 – Comparativo entre Digital Flow Meter e o Protótipo do Hidrômetro Digital	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Access Control List
API	Application Programming Interface
FreeRTOS	Real-time operating system for microcontrollers
GPIO	General Purpose Input/Output
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
I2C	Inter-Integrated Circuit
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
PWM	Pulse Width Modulation
SDIO	Secure Digital Input Output
SSID	Service Set Identifier
SPI	Serial Peripheral Interface
TSDB	Time Series Database
TCP	Transmission Control Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO	2
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.2 JUSTIFICATIVA	3
2 – REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 HIDROMETRIA	4
2.2 SENSORES	5
2.2.1 SENSOR DE VAZÃO DE FLUXO	5
2.3 PROTOCOLO MQTT	7
2.4 BANCO DE DADOS	7
2.5 API	8
3 – PROTÓTIPO DE HIDRÔMETRO DIGITAL	10
3.1 MATERIAIS	10
3.1.1 SENSOR DE VAZÃO DE ÁGUA	10
3.1.2 MICROCONTROLADOR	11
3.1.3 BIBLIOTECAS OPENSOURCE	13
3.1.4 <i>FRAMEWORKS</i> DE DESENVOLVIMENTO	13
3.2 O PROTÓTIPO	13
3.2.1 ESTRUTURA DO PROTÓTIPO	14
3.2.2 CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE VAZÃO	15
3.2.3 CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO	16
3.2.4 SISTEMA EMBARCADO	17
3.2.5 CONFIGURAÇÃO DA REDE WI-FI DO MICROCONTROLADOR ESP32	18
3.2.6 MOSQUITTO MQTT	19
3.2.7 BANCO DE DADOS	20
3.2.8 INTEGRAÇÃO DO MQTT E DO BANCO DE DADOS	21
3.2.9 VISUALIZAÇÃO GRÁFICA	22
3.2.10 ALERTA DE CONSUMO	23
3.2.11 API DE COMUNICAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS	24
3.2.12 CONFIGURAÇÃO WIFI	24
4 – TESTES REALIZADOS	26
4.1 COMUNICAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS	26
4.2 VISUALIZAÇÃO DE CONSUMO PELA PLATAFORMA	27

4.3	RECEBIMENTO DE ALERTA DE CONSUMO	29
4.4	INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA DE GERENCIAMENTO CONDOMINIAL	30
4.5	ANÁLISE COMPARATIVA DE PREÇOS	31
5	– CONCLUSÃO	33
	Referências	34

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional nos grandes centros urbanos, o uso sustentável da água se tornou cada vez mais importante e necessário, além de ser ecologicamente correto. [Ferreira e Henkes \(2018\)](#) coloca em evidência em sua obra a importância do reconhecimento da água como recurso limitado. Com o aumento da população no meio urbano caso não haja um controle no consumo de água, haverá em um futuro próximo, riscos de escassez hídrica.

Segundo [Oliveira e Koide \(2020\)](#) "a medição individualizada de água é uma tecnologia poupadora por possibilitar o conhecimento do volume real consumido pelo usuário e cobrar por esse volume, o que leva a uma maior preocupação do usuário em mudar o padrão de consumo pelo efeito direto na sua conta de água".

O que temos no modelo atual aplicado às unidades habitacionais é que o morador apenas observa tão somente seu consumo mensal, sendo este visualizado, ou pelo relógio do hidrômetro, ou pela própria fatura, não sendo rotina a visualização gráfica ou até quantitativa da utilização de água no seu dia-a-dia. Para muitos, obter esse controle de consumo diariamente pode se tornar desgastante e algo difícil de se adaptar a rotina.

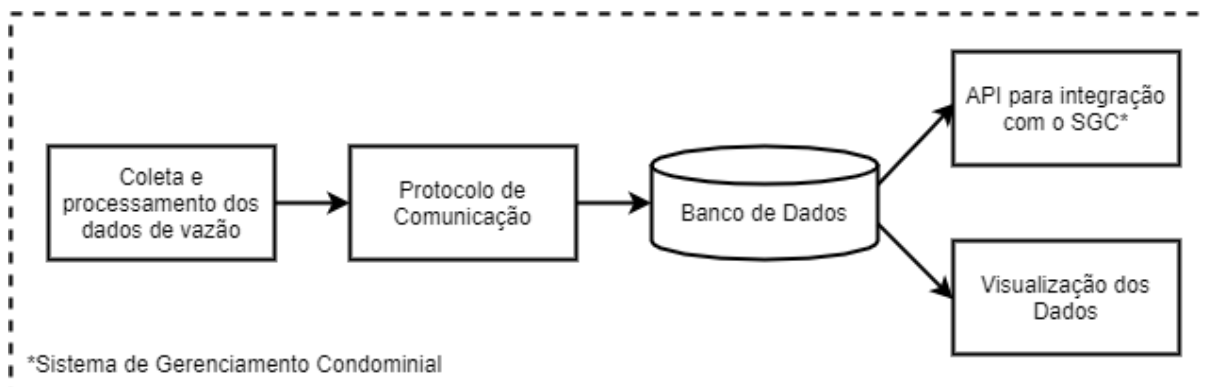
Atualmente, na maioria dos condomínios as leituras dos medidores são feitas in loco por um funcionário do próprio condomínio, geralmente o zelador ou um responsável da administração. Porém, quando se realiza uma leitura visual não existe garantias de que não ocorra erros de leitura, maior tempo gasto para medir o consumo de todas as unidades e, neste caso, o mais indicado, ágil e confiável seria optar por um sistema de medição que fosse remoto e automatizado.

Optando por um serviço tecnologicamente moderno, na maioria das vezes, envolve pouca interação humana, porém o condomínio teria que investir um valor muito elevado para aquisição de equipamentos e do sistema de monitoramento que atualmente está disponível no mercado, o que tornaria inviável essa opção para muitos condomínios.

Caso os dados do consumo medidos pudessem ser acessados através de uma integração entre o sistema de gerenciamento condominial e o sistema de monitoramento, o funcionário que anteriormente verificava todos os relógios de hidrômetros do condomínio disporia de tempo para exercer outras atividades, podendo assim otimizar sua função em outras tarefas gerando ao todo uma expressiva economia ao condomínio na totalidade.

O protótipo do hidrômetro digital de baixo custo desenvolvido, utiliza como componentes físicos básicos, um microcontrolador e um sensor de vazão, e, componentes de *software* para coleta, armazenamento, visualização e protocolos de transmissão de dados para a medição da vazão, na Figura 1 visualiza-se o diagrama de blocos do protótipo.

Figura 1 – Diagrama de Blocos do protótipo



Fonte: Autoria própria

1.1 OBJETIVO

A proposta do presente trabalho é desenvolver um sistema de medição de consumo de água de baixo custo para unidades habitacionais, que proporcione ao morador da residência a possibilidade de manter controle do seu próprio consumo e que, em simultâneo, possibilite a administradora do condomínio monitorar o consumo mensal de todas as unidades.

O dispositivo eletrônico de sensoriamento será acoplado a rede de abastecimento hídrico, assim, todas as unidades habitacionais terão dispositivos individualizados que poderão ser visualizados tanto pela administradora do condomínio quanto pelo próprio condômino por meio da plataforma.

Desta forma, a partir do monitoramento do consumo e, com base na média de consumo diário de cada unidade, o sistema irá identificar alterações significativas na utilização do recurso hídrico (como vazamentos) e enviará um alerta tanto ao responsável pela unidade quanto ao condomínio.

O monitoramento do consumo das unidades será de forma ininterrupta o que possibilitará evidenciar qualquer alteração no consumo pela média diária obtida por meio do banco de dados que o dispositivo alimentaria diariamente.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um sistema de medição de consumo hídrico com baixo custo.
- Obter a partir do protótipo a captura dos dados de consumo.
- Implementar uma plataforma para visualização dos dados recebidos pelo sensor.
- Implementar um banco de dados para armazenar os dados medidos.
- Identificar as variações de consumo, enviando um alerta quando houver discrepâncias em comparação ao consumo diário através da média diária de utilização do recurso hídrico.
- Desenvolver e disponibilizar uma API para ser possível realizar a integração com os sistemas de gerenciamento condominial.

1.2 JUSTIFICATIVA

O avanço tecnológico e a mecanização do campo são fatos geradores do aumento populacional nas cidades. Porém, com o progresso vieram também os problemas, dentro eles o consumo de água de forma desordenada.

Em virtude da necessidade de espaço para moradias em decorrência do crescimento populacional das cidades, surgiram as verticalizações das moradias como uma alternativa de economia de espaço.

Ocorre que, “com o aumento da demanda de água associado ao crescimento da população e ao desenvolvimento econômico, além de ações de desperdício, a disponibilidade de água no planeta vem ficando cada vez mais crítica” (LIMA et al., 2016, p. 57).

Atualmente a administração condominial possui a tarefa de realizar as medições manualmente em cada medidor individual, o que pode ocasionar erros de leitura, e cobranças indevidas. Essa tarefa é geralmente realizada por um funcionário com prancheta, papel e caneta, e após isso, os dados são cadastrados em um sistema de gerenciamento ou planilhas utilizadas para a gerenciamento condominial e os cálculos relacionados à cobrança do consumo são efetuados por meio dessas leituras.

A maioria dos prédios mais antigos tem apenas um hidrômetro coletivo que registra o consumo total do condomínio e o custo é dividido de forma igualitária entre os moradores.

Em 12 de julho de 2016 o Presidente da República sancionou a lei que segundo Senado (2016) “novos edifícios serão obrigados a adotar hidrômetros individuais para medir o consumo de água por apartamento”.

Desta forma, com a finalidade de se adequar aos atuais padrões de sustentabilidade será desenvolvido um sistema em que todo processo de coleta de dados será automatizado, gerando segurança e economia aos condomínios.

Esse sistema irá automatizar a forma de visualização do consumo, já que emitirá um sinal de alerta no celular do morador, via mensagem, quando houver variações no uso habitual da água possibilitando dessa forma com que o condômino possa agir de imediatamente em caso de vazamentos, evitando consumo excessivo desnecessário.

Havendo um sistema capaz de armazenar e enviar dados, em tempo real, para um servidor externo, esses dados podem ficar disponibilizados para qualquer sistema de gerenciamento. Com isso, evita-se cobranças indevidas, que podem ocorrer por erro humano/falha no registro da leitura.

Além disso, após a leitura, havendo variações excessivas no consumo de água, que pode ocorrer no caso de vazamentos, será enviado ao dispositivo móvel do condômino um sinal de alerta através de mensagem, possibilitando a realização de vistoria nas instalações do apartamento ou da área comum.

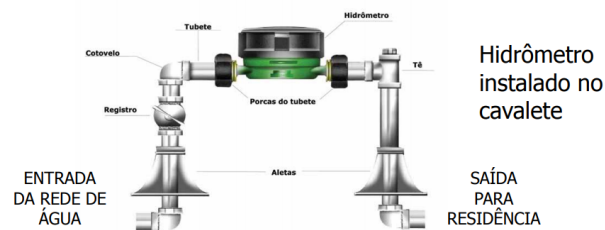
2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será explanado sobre os componentes e protocolos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 HIDROMETRIA

Os hidrômetros cumprem um importante papel no setor de saneamento, cuja principal função é medir o consumo, seja esse consumo residencial ou empresarial, para que esse gasto seja precificado pela empresa de saneamento centro de distribuição.

Figura 2 – Hidrômetro



Fonte: SABESP (2017)

De acordo com a SABESP (2017, p. 09) o hidrômetro, figura 2, se trata de um aparelho que realiza a medição do consumo de água e indica através de um mecanismo de relojoaria, como se observa na figura 3, a quantidade de água fornecida pela rede de distribuição.

Figura 3 – Mecanismo de relojoaria



Fonte: SABESP (2017)

Desempenhando um papel de suma importância para o controle do consumo de água, o hidrômetro é um instrumento de gerenciamento de consumo. O que torna essencial que seu funcionamento seja perfeito para controlar as perdas e reduzir o desperdício, além de auxiliar

no controle do faturamento e todo o gerenciamento da conta de consumo de água. (DAE, 2013, p. 86).

2.2 SENSORES

O uso de sensores para monitoramento tem tomado grande espaço nas residências. Podendo ser encontrado em uma lâmpada que se acende automaticamente, em dispositivos celulares e em outros meios eletrônicos. Segundo Mendes (2016) o sensor é um componente de um sistema de medição que recebe variações a partir de fenômenos, corpos ou substâncias.

Os avanços científicos tanto nas áreas da eletrônica como nas de programação tem se tornado, ferramentas essenciais para criação de sensores cada vez mais precisos.

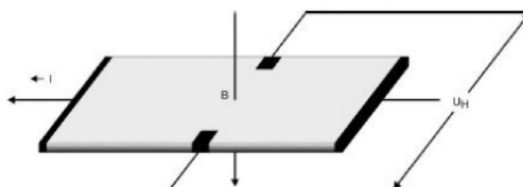
2.2.1 SENSOR DE VAZÃO DE FLUXO

Para medir a quantidade de água que passa em um cano, como é o caso do encanamento do hidrômetro, temos que medir a vazão volumétrica do fluido. O medidor de vazão é um instrumento capaz de medir a massa (medidos de vazão mássica) ou o volume de um fluido (medidor de vazão volumétrica) que escoar em uma tubulação ou um canal em um determinado intervalo de tempo (FRANÇA, 2007, p. 165). O cálculo da vazão pode obtida através da equação 1. Onde Q é a vazão da água, V é o volume e t é o tempo.

$$Q = \frac{V}{t}. \quad (1)$$

Em geral, para medir a vazão de um líquido pode ser utilizado um sensor de fluxo. O funcionamento interno deste sensor se baseia na medição pelo sensor de efeito *hall*, figura 4, onde no seu estrutural possui uma válvula, parecido com cata-vento, com um ímã acoplado e a cada revolução é gerado um pulso. "Os sensores eletrônicos de proximidade magnéticos, que se baseiam no efeito *Hall*, são dispositivos semicondutores cujo comportamento elétrico pode ser influenciado por um campo magnético"(THOMAZINI, 2005).

Figura 4 – Efeito *Hall*



Fonte: Thomazini (2005)

Quando a água da tubulação passa pelo sensor, faz com que o eixo da turbina gire causando perturbações no sensor de efeito *Hall*, a cada rotação é gerado um pulso na saída,

e o microcontrolador realiza o monitoramento destes pulsos. O volume de água que fluiu na tubulação é obtido pela variação de tempo ocorrida entre os pulsos gerados.

O sensor que será utilizado neste projeto é o YF-S201, de acordo com [Electronics \(2020\)](#) este não se trata de um sensor de precisão, e a taxa de pulso sofre variações dependendo da taxa de fluxo, pressão do fluido e orientação do sensor o que torna necessária a calibração deste equipamento para uma precisão superior a 10%.

Para identificar o coeficiente de calibração do sensor de vazão será utilizado o método dos mínimos quadrados, para determinar os coeficientes que definem a equação da reta, equação 2 onde y representa o número de revoluções ocorridas e x a vazão na tubulação.

$$y = a_0 + b_0x. \quad (2)$$

Para obter a curva de ajuste linear pelo método dos mínimos quadrados temos que "determinar os valores de a e b que minimizam a soma das diferenças quadráticas entre a reta e os pontos experimentais divididas pelas respectivas variâncias (a variância é o quadrado do desvio padrão)"([HELENE, 2006, 5](#)):

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2. \quad (3)$$

De acordo com [Helene \(2006, 6\)](#) os valores que minimizam $Q(a, b)$ são os valores ajustados \hat{a} e \hat{b} dos parâmetros, obtidos resolvendo-se as equações:

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{a}}(\hat{a}, \hat{b}) = 0. \quad (4)$$

e

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{b}}(\hat{a}, \hat{b}) = 0. \quad (5)$$

Obtido o resultado das derivadas parciais de a e b obteremos o sistema:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i). \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i (y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i). \quad (7)$$

Determinando assim os valores para \hat{a} e \hat{b} :

$$\hat{a} = \hat{y} - \hat{b}\hat{x}. \quad (8)$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\hat{x}\hat{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\hat{x}^2}. \quad (9)$$

Com os valores de a e b temos a partir da especificação do dispositivo, [Electronics \(2020\)](#) o valor de referência como 450 pulsos/L. A partir da equação da reta obtida pela regressão dos mínimos quadrados será possível observar o valor real de pulsos/L.

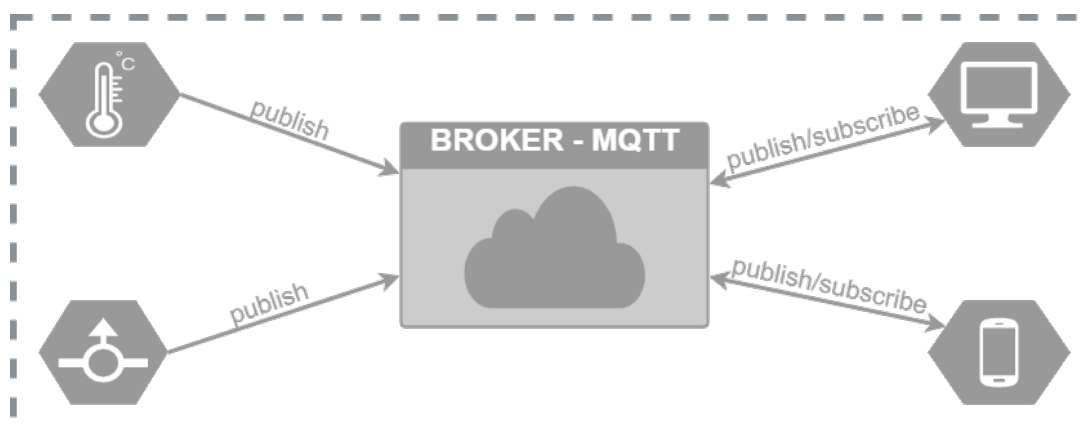
Com o resultado será possível calibrar o medidor para otimizar as amostras medidas retornando o melhor resultado possível para cada amostragem.

2.3 PROTOCOLO MQTT

O MQTT é um protocolo de troca de mensagens baseado na arquitetura publicação e subscrição. Adequado em ambientes com redes inseguras ou restritas, que tenham alta latência ou largura de banda debilitada.

Segundo [Team \(2015\)](#) o protocolo MQTT é muito leve e binário, e devido à sua sobrecarga mínima de pacotes ele se destaca ao transferir dados em comparação a protocolos como HTTP. Outro aspecto importante deste protocolo é que ele é extremamente fácil de implementar no lado do cliente tornando-o perfeito para dispositivos restritos com recursos limitados.

Figura 5 – Visão geral do protocolo MQTT



Fonte: Autoria própria

Podemos observar na figura 5 a visão geral deste protocolo. Uma mensagem é publicada para um endereço, também chamado tópico, o *Broker* recebe estes dados e os direciona para os dispositivos que assinam esse tópico.

2.4 BANCO DE DADOS

De acordo com [Rinaldi et al. \(2019\)](#) os bancos de dados podem ser classificados em dois grupos principais os relacionais e os não-relacionais. O modelo de banco de dados relacional "usa um conjunto de tabelas para representar tanto os dados como a relação entre eles. Cada tabela possui uma ou mais colunas e cada uma possui um nome único"([FERNANDES et al., 2017, 10](#)). Já os bancos de dados não relacionais segundo [Rinaldi et al. \(2019\)](#) utilizam

mecanismos diferentes do modelo tabular utilizado para modelar um banco de dados relacional. Eles utilizam "um esquema dinâmico e são mais adequados para aplicativos que exigem alto desempenho, flexibilidade e escalabilidade"(SUN et al., 2019)

Temos como o banco de dados escolhido o InfluxDB uma ferramenta de código aberto, que segundo InfluxDB (2020) é um banco de dados de séries temporais otimizado para armazenar um grande volume de informações em ordem cronológica. Os dados em série são simplesmente medições ou eventos que são rastreados, monitorados, desligados e agregados temporalmente. Podem ser métricas do servidor, monitoramento de desempenho de aplicativos, dados de rede, dados de sensores, eventos, cliques, negociações em um mercado e outras categorias de dados de análise. Na figura 6 pode ser observado a estrutura de armazenamento de dados no InfluxDB em relação ao SQL.

Figura 6 – Estrutura do dado InfluxDB



Fonte: Crivelaro (2016)

Um banco de dados de séries temporais foi desenvolvido especialmente para realizar o armazenamento dos dados com base no tempo. "Propriedades que tornam os dados de séries temporais muito diferentes de outras cargas de trabalho de dados são gerenciamento do ciclo de vida dos dados, resumo e varreduras de grande alcance de muitos registros".(INFLUXDB, 2020)

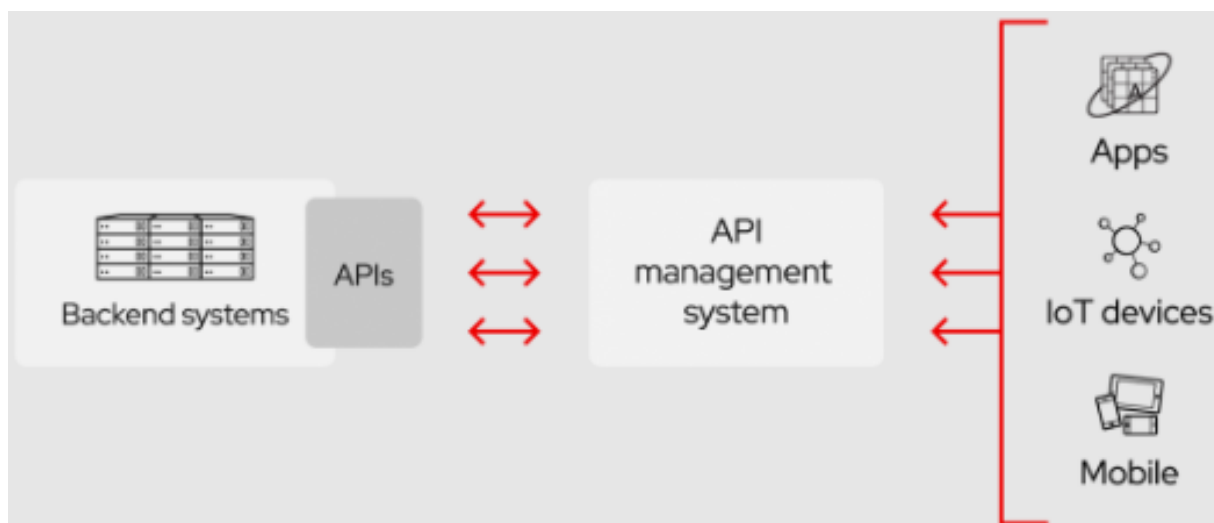
Pelo InfluxDB ter esse sistema de armazenamento indexados no tempo, quando se realiza uma consulta, por exemplo, da vazão em um determinado tempo, a execução da consulta é mais eficiente em relação a essa pesquisa realizada em um banco de dados relacional.

2.5 API

Quando um sistema armazena informações, o caso deste trabalho, ou de quaisquer dados que necessitem ser compartilhados com outros sistemas, existe a necessidade de realizar

uma comunicação de forma segura e sem interferência entre um sistema e outro. Uma das maneiras de realizar essa integração é através de API que nada mais é "um conjunto de definições e protocolos, usado no desenvolvimento e na integração de "software" de aplicações"(HAT, 2020).

Figura 7 – Comunicação com banco de dados através de API



Fonte: RedHat (2021)

Como ilustra a figura 7 a API permite a troca de informações entre serviços, sem haver necessidade da compatibilidade de tecnologias entre os sistemas, através de requisições entre si. Também garantindo a segurança e controle das informações que são compartilhadas.

3 PROTÓTIPO DE HIDRÔMETRO DIGITAL

Nesta seção será descrito o desenvolvimento do trabalho, destacando os passos necessários para a implementação do protótipo físico, conexões com o servidor, utilização de protocolo de comunicação e os materiais necessários.

3.1 MATERIAIS

Nesta seção serão descritos os materiais e tecnologias que serão utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1.1 SENSOR DE VAZÃO DE ÁGUA

Para mensurar o consumo de água será utilizado um sensor de fluxo YF-201, figura 8, por possuir um custo acessível atendendo as especificações do projeto.

Figura 8 – Sensor de fluxo YF-201



Fonte: Autoria própria

O modelo deste sensor segue as seguintes especificações:

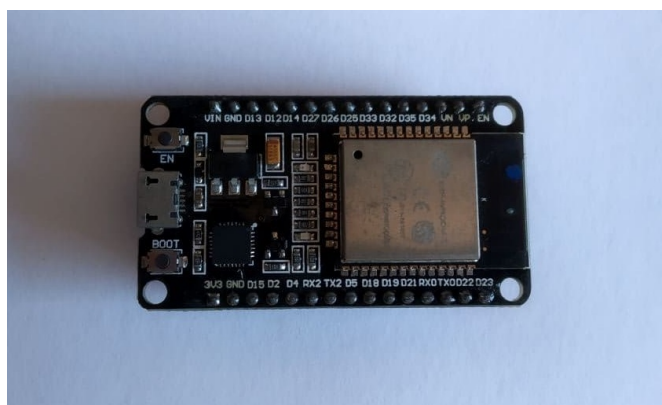
- Sensor do tipo efeito Hall
- Tensão de operação ente 5-24V
- Corrente máxima de 15 mA (5V)
- Faixa de Fluxo entre 1 e 30 L/min
- Pressão máxima de 2,0 Mpa
- 450 pulsos por litro
- Frequência = $7,5 * \text{Fluxo (L/min)}$
- Temperatura de trabalho operando entre -25 a 80°C
- 10% de exatidão

- Dimensão de conexão de $\frac{1}{2}$ "
- Dimensão do diâmetro interno de 0,78"
- Dimensão do diâmetro externo de 2,5" x 1,4" x 1,4

3.1.2 MICROCONTROLADOR

Para suprir as especificações de um projeto de baixo custo, mantendo a capacidade de processamento e armazenamento como também a qualidade do sistema e possuir módulo Wi-Fi com homologação na Anatel, o que facilita para que este trabalho se torne um produto comercial. Foi utilizado o microcontrolador ESP32, que pode ser visualizado abaixo na figura 9.

Figura 9 – Microcontrolador Espressif ESP32



Fonte: Autoria própria

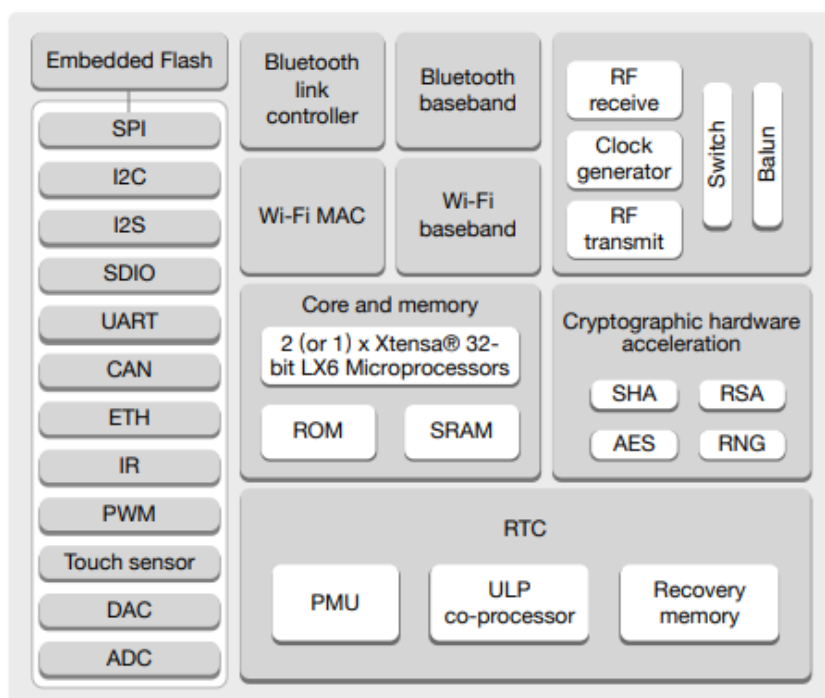
Dentre as especificações deste dispositivo temos:

- Alimentação entre 2,2 e 3,3 V DC;
- Consumo de corrente média de 80 mA;
- Temperatura de operação entre -40 °C e +85 °C;
- Possui um processador Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6;
- Possui um processador secundário Ultra Low Power coprocessador de 8MHz com consumo de 150uA;
- Frequência de operação entre 80MHz e 240 MHz;
- Memória FLASH de 4 MB;
- Memória RAM de 520 KB;
- Memória ROM de 448 KB;
- Possui 34 GPIOs de 3.3V e 12mA;
- 18 conversores ADC com 12-bit de resolução;
- 2 conversores ADC com 8-bit de resolução;
- Wi-Fi 2,4 GHz, 802.11 b/g/n/e/i (802.11n até 150 Mbps);
- Bluetooth baixa energia v4.2;
- Criptografia: AES, RSA, SHA, ECC;

- Segurança: WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS;
- Protocolos de rede IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT;
- Temporizadores com 4 timers de 64-bit;
- Interface de módulos: cartão SD, UART, SPI, SDIO, I2S, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR;
- Possui um sensor de temperatura interno, um sensor de efeito hall e dez sensores de toque capacitivos;
- Conta também com recursos como: quatro Watchdogs, deep sleep, pré-amplificador analógico de baixo; ruído, quatro interfaces virtuais de Wi-Fi.

Segundo (ESPRESSIF, 2020a) este microcontrolador possui um “design” robusto, capaz de funcionar de forma confiável em ambientes industriais suportando grandes variações de temperatura, projetado para dispositivos móveis, eletrônicos vestíveis e aplicações IoT, alcançando um consumo de energia ultra-baixo com uma combinação de várias categorias de “software” proprietário e recursos.

Figura 10 – Diagrama de blocos funcional do ESP32



Fonte: Espressif (2020b)

Este dispositivo, como podemos observar na figura 10 o seu diagrama de blocos, possui também um módulo Wi-Fi e Bluetooth híbrido capaz de funcionar como um sistema autônomo completo, também podendo interagir com outros sistemas para fornecer funcionalidade Wi-Fi e Bluetooth através de suas “interfaces” SPI/SDIO ou I2C/UART.

3.1.3 BIBLIOTECAS OPENSOURCE

- (a) InfluxDB: banco de dados de séries temporais de código aberto.
- (b) Mosquitto MQTT: *broker* de código aberto que realiza o gerenciamento das mensagens.
- (c) Grafana: plataforma de visualização gráfica e manipulação de dados.
- (d) Telegraf: agente de servidor que realiza a ponte entre as diversas tecnologias distintas.

As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento e as portas configuradas podem ser visualizadas na tabela 1:

Tabela 1 – Relação das tecnologias utilizadas e o uso das portas configuradas.

Tecnologia	Serviço	Porta
InfluxDB	Banco de dados	8086
Mosquitto MQTT	Protocolo de Mensageiria	1883
Grafana	Plataforma de Visualização	3000
Telegraf	Agente de Servidor	
Node	API	3003

Fonte: Autoria própria

Já as configurações e códigos podem ser visualizados no repositório do GitHub acessando <https://github.com/keikomori/flow-sys> junto aos procedimentos de configuração.

3.1.4 FRAMEWORKS DE DESENVOLVIMENTO

- (a) ESP-IDF: biblioteca baseada no *FreeRTOS* de código aberto que possibilita o uso otimizado dos periféricos.
- (b) NodeJS: *software* multiplataforma de código aberto que possibilita a criação de *APIs*.

3.2 O PROTÓTIPO

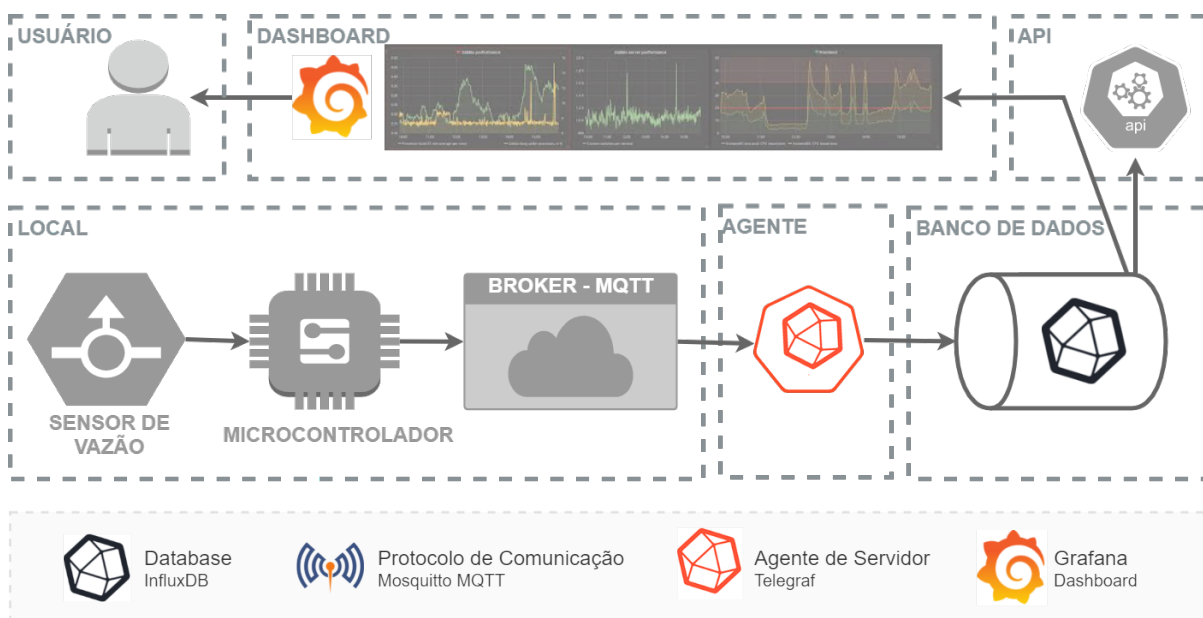
O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em fases, o sensor de vazão, a calibragem e circuito de alimentação, a implementação do banco de dados, do *firmware* do microcontrolador, a comunicação entre as tecnologias, a visualização de dados e criação de alerta e a possibilidade de integração com sistemas gestores de condomínio.

O protótipo do hidrômetro digital consiste em um microcontrolador ESP32, que é, conforme o [Espressif \(2020b\)](#) um único chip combinado de Wi-Fi projetado com a tecnologia de ultra-baixa potência e bom desempenho de consumo. E o sensor de fluxo de água modelo YF-S201, que mede a taxa de fluxo de hídrico a partir da quantidade de água que circula por ele, um sensor do tipo Hall.

3.2.1 ESTRUTURA DO PROTÓTIPO

A figura 11 mostra o diagrama do protótipo desenvolvido, onde pode-se observar o fluxo e processamento dos dados, desde o sensor de vazão até a visualização pelo usuário.

Figura 11 – Visão geral do trabalho



Fonte: Autoria própria

Quando é realizada a passagem de água pelo sensor de fluxo que está conectado ao encanamento ligado a rede de distribuição de água que abastece a residência, o sensor de fluxo envia um sinal PWM ao microcontrolador. Este no que lhe concerne realiza a contagem dos pulsos na GPIO de entrada e converte na quantidade de água que passa pelo sensor.

Ao verificar que houve uma nova passagem de água recebida pelo sensor o microcontrolador realiza a conversão em litro e realiza o envio dos dados através de um tópico definido na implementação do programa, através de um *publish* ao *Broker* Mosquitto.

O *Broker* ao receber as informações no tópico realiza o gerenciamento de tráfego da mensagem encaminhando a todos os dispositivos que estão assinando o tópico em questão.

Foi então configurado um usuário e senha ao *Telegraf* e cadastrado ele como um assinante do tópico, assim quando o *Broker* recebe novas informações do microcontrolador que publica no tópico o *Telegraf* tem acesso a estes dados.

Como o *Telegraf* é um meio de passagem de dados entre tecnologias diferentes, ele recebe os dados do *Broker* e para a saída destas informações foi realizada a configuração com um usuário e senha de acesso ao banco de dados para ser realizada a inserção das informações recebidas no banco de dados.

Os dados são armazenados no banco conforme a data e hora de entrada, e para a visualização gráfica deles foi utilizada a plataforma Grafana. A integração entre a plataforma

Grafana e o banco de dados é realizada com a criação de um usuário e senha específico, cada usuário acessa através do Grafana o banco de dados.

Com os dados armazenados compartilhados com a plataforma de visualização Grafana foi criado um *dashboard* para visualização do consumo no decorrer do tempo e o gasto total. Também na Grafana foi realizada a configuração de recebimento de notificações de alerta para usuário, para o caso de consumo acima da média.

Para que os dados possam ser compartilhados com os sistemas de gerenciamento condominial foi utilizada uma API desenvolvida em *NodeJS* que se comunica com o banco. Através da implementação de consultas em métodos definidos realiza o retorno do consumo ao gestor do condomínio.

3.2.2 CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE VAZÃO

A calibração do sensor foi realizada através do método dos mínimos quadrados. Foi realizada a coleta de 30 amostras, a cada um litro de água que passou pelo sensor de fluxo foi registrada a quantidade de pulsos que o microcontrolador contou até que o fluxo cessou, pode ser observado na tabela:

Tabela 2 – Tabela de amostras para calibragem do sensor, pulsos por Litro.

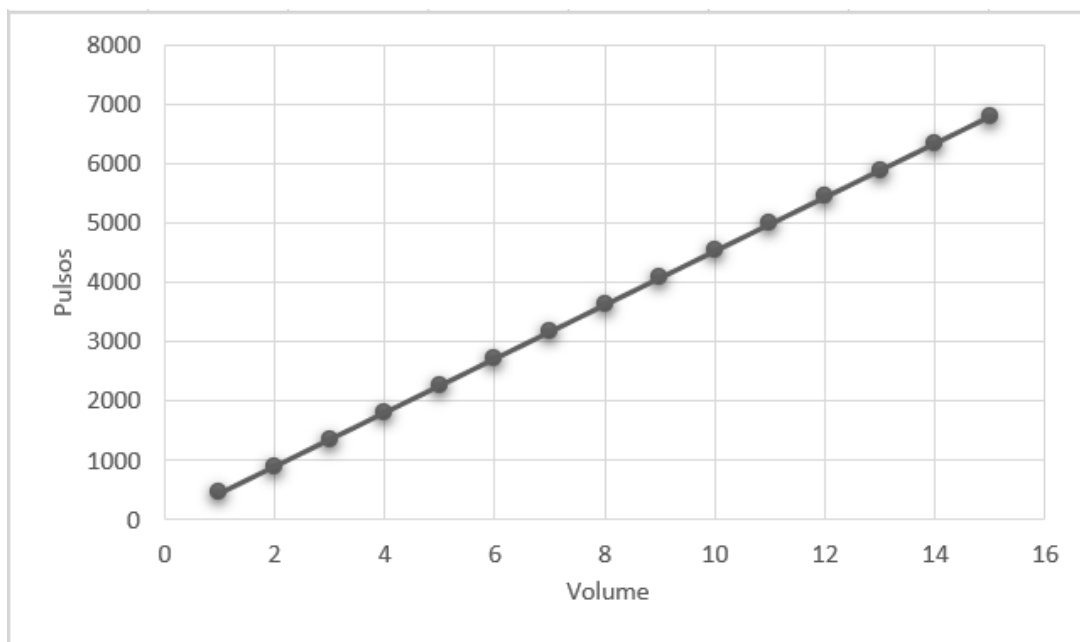
Vazão	Pulsos
1	458
2	911
3	1368
4	1817
5	2275
6	2726
7	3182
8	3632
9	4085
10	4539
11	4998
12	5449
13	5902
14	6358
15	6809

Fonte: Autoria própria

Na aplicação do método dos mínimos quadrados, a partir das amostras medidas obtemos o gráfico que relaciona a vazão e a quantidade de pulsos de equivalência.

De forma experimental encontramos uma aproximação de 454 pulsos/L. E realizamos a calibração via código das amostras recebidas.

Figura 12 – Pulsos x Vazão



Fonte: Autoria própria

3.2.3 CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO

O sensor de fluxo opera com tensão de operação mínima de 5V e a máxima de 24V, já o microcontrolador ESP32 opera com tensão de 3.3V, para limitar a tensão de entrada no pino do microcontrolador ESP32 para o recebimento do sinal PWM do sensor de fluxo em 3.3V foi necessário um circuito de proteção para o pino de entrada.

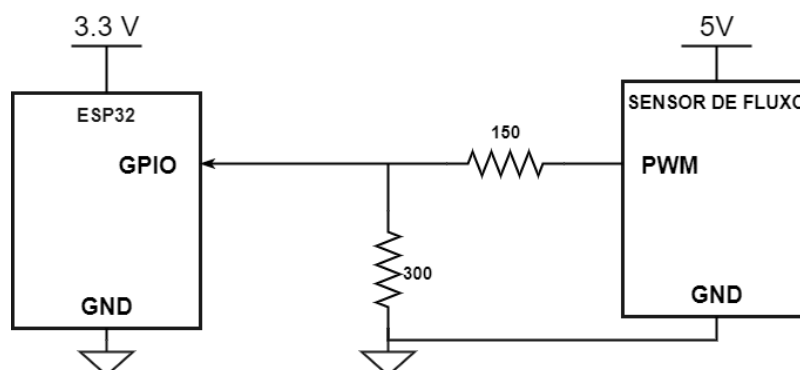
Fixando a tensão de alimentação do sensor de fluxo em 5V, foi utilizado o método de divisão de tensão para que o sinal de saída PWM do sensor de fluxo entre no microcontrolador ESP32 como 3.3V.

Temos o divisor de tensão composto por dois resistores conectados em série entre os terminais da fonte de alimentação, 150 Ohms e 300 Ohms, respectivamente. Com a divisão de tensão entre às duas resistências, ajustamos a saída do sensor de fluxo para a entrada no microcontrolador em 3.3V.

Com a realização da instrumentação do circuito foi possível garantir a integridade do microcontrolador ESP32, como se visualiza na figura 13 o esquemático do protótipo inicial. Nele pode ser observado a adição da divisão de tensão entre os dispositivos.

A alimentação do circuito será através de uma bateria de 9V e um módulo de alimentação com saída de 3.3V e 5V, para o microcontrolador ESP32 e o sensor de fluxo, respectivamente.

Figura 13 – Esquemático da montagem do dispositivo



Fonte: Autoria própria

3.2.4 SISTEMA EMBARCADO

Para desenvolver o sistema embarcado do microcontrolador ESP32 existem métodos como *framework* Arduino, a linguagem *Micro Python*, ou o *framework* ESP-IDF.

Neste trabalho utilizamos o *framework* ESP-IDF v4.2.2, por se tratar de um Kit de desenvolvimento baseado no *framework* FreeRTOS criado e mantido pela *Espressif*.

O uso do *FreeRTOS* permitiu a utilização de periféricos do microcontrolador para aproveitar sua capacidade de desempenho, otimizando a captação de dados.

Através do periférico de contagem pulsos presentes, projetado para contar as bordas de subida ou descida do sinal de entrada, foi realizada a análise do sinal PWM no pino de entrada.

A configuração do periférico foi implementada para contar apenas a borda de subida, o código presente no quadro 1 representa as configurações realizada para inicializar a função do periférico.

Nas configurações, inicializado o GPIO 18 que foi definido, uso de um canal, a contagem das bordas positivas e o limite de contagem até a geração da interrupção.

Quadro 1 – Configuração do GPIO

```
pcnt_config_t pcnt_config = {
    .pulse_gpio_num = PCNT_INPUT_SIG_IO,
    .channel = PCNT_CHANNEL_0,
    .unit = PCNT_TEST_UNIT,
    .pos_mode = PCNT_COUNT_INC,
    .counter_h_lim = PCNT_H_LIM_VAL
};
```

Para a contagem de pulso/L foi feita a calibragem do sensor pelo método dos mínimos quadrados, onde as amostras foram coletadas ao conectar o sensor a uma rede hídrica.

Dessa forma com a coleta de 30 amostras foi possível determinar a taxa pulsos ao passar um litro pelo sensor.

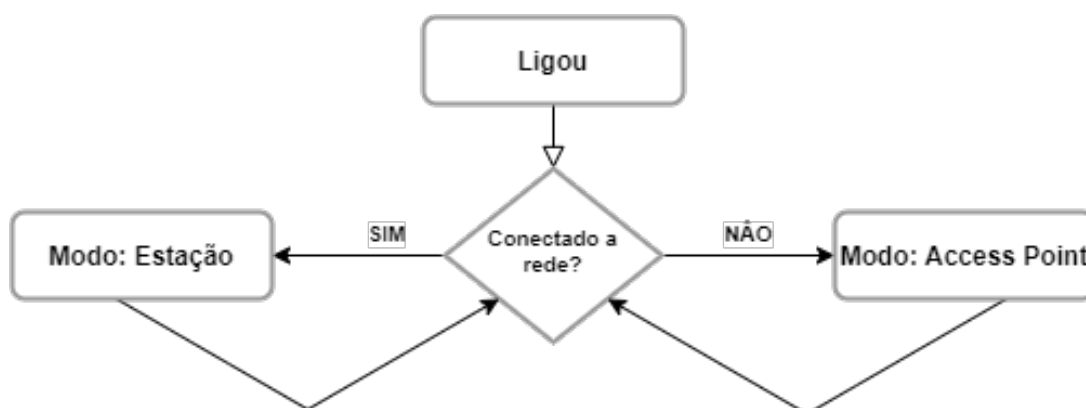
Além do uso nativo do periférico de contagem de pulsos foi habilitada as configurações de *Access Point* e de MQTT. Na subseção 3.2.5 tem a parte complementar dos métodos utilizados para configuração de rede.

Já o uso do protocolo MQTT está descrita na subseção 3.2.6 que veremos a frente.

3.2.5 CONFIGURAÇÃO DA REDE WI-FI DO MICROCONTROLADOR ESP32

Para configurar a Internet no microcontrolador ESP32 existe a necessidade de um sistema de acesso à configuração de rede, que facilite ao cliente trocar a rede em que o dispositivo estiver conectado, seja pela troca do *modem*, troca do nome ou senha do *Wi-Fi*, de forma simples e sem a necessidade de configuração via linha de comando no programa do microcontrolador ESP32.

Figura 14 – Diagrama de fluxo da conexão Wi-fi



Fonte: Autoria própria

A utilização da biblioteca de gerenciamento de Wi-Fi, *esp32-wifi-manager* (POTTIER, 2020), proporcionou ao sistema maior facilidade para a configuração do ponto de acesso entre o microcontrolador e a rede Wi-Fi.

Esta se trata de uma biblioteca licenciada pelo MIT o que permite sua utilização em quaisquer categorias de projetos, desde que se mantenha os direitos autorais.

Quando o dispositivo é conectado pela primeira vez na energia ele não está conectado a nenhuma rede de Wi-Fi, ao não haver conexão é iniciado o modo Access Point (AP), este modo permite que o usuário se conecte ao microcontrolador através de um celular ou computador sem a necessidade de realizar nenhuma conexão via cabo.

Com um usuário e senha fornecido junto ao dispositivo o cliente se conecta ao microcontrolador que tem agora o comportamento de um roteador Wi-Fi. E através dessa conexão utilizando o navegador do computador ou celular pode acessar uma página *Web*, por meio do endereço de IP 10.10.0.1.

Através do acesso a essa página é possível realizar a inserção do nome de rede (SSID) e senha do roteador em que se deseja que o dispositivo de conecte.

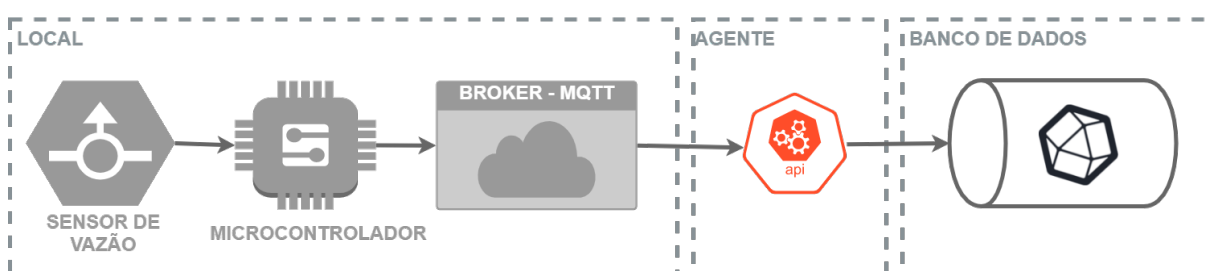
O dispositivo no momento em que se conecta a uma rede de Wi-Fi entra no modo estação. Caso ocorra mudanças no nome da rede ou senha o dispositivo realizará a varredura a procura desta rede e, ao não encontrá-la realizará este processo descrito desde a etapa que entra no modo AP até a realização de uma nova conexão.

3.2.6 MOSQUITTO MQTT

Para o envio dos dados medidos no sensor ao banco de dados foi utilizado um protocolo de comunicação de mensageiria, realizando assim, um transporte seguro e sem perda de informações durante este processo de envio entre o dispositivo que mede os dados e o banco que recebe.

Dentre as tecnologias existentes em relação aos *Brokers* de mensageiros como o RabbitMQ, AMQP, Stomp e Mosquitto. Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o Mosquito MQTT, por ser um protocolo leve de publicação/ assinatura que flui sobre TCP/IP, capaz de conectar inúmeros sensores remotamente e dispositivos de controle (IBM, 2020).

Figura 15 – Comunicação do Broker com o sensor e o banco de dados



Fonte: Autoria própria

O protocolo MQTT como observado na figura 15, realiza o gerenciamento do tráfego de mensagens entre o microcontrolador e o *Telegraf*, que veremos na 3.2.8 que faz a inserção das informações no banco de dados.

A implementação do MQTT foi dividida em três partes, a configuração do *Broker*, responsável pelo gerenciamento do tráfego das informações, a adição de regras de acesso e regras de *Access Control List* (ACL) para limitar o recebimento e envio de mensagem a apenas quem tem permissão e o recebimento dos dados do *Broker* pelo banco de dados.

Para a implementação do *Broker* Mosquito MQTT no microcontrolador ESP32 é utilizada a biblioteca *esp-mqtt* (PM, 2015), uma biblioteca de licença MIT, de livre uso para projetos desde que se mantenha os direitos autorais originais, sendo atualmente mantida pela comunidade no *GitHub* da *Espressif*.

Esse módulo permite assinar, publicar e cancelar assinatura nos tópicos. Baseando nos parâmetros desta biblioteca é realizada a implementação e configuração de acesso do microcontrolador ESP32 ao *Broker*.

Quadro 2 – Código da função publish do MQTT

```
esp_mqtt_client_publish ( esp_mqtt_client_handle_t client ,  
                          const char *topic ,  
                          const char *data ,  
                          int len ,  
                          int qos );
```

O envio do consumo por um *publish*, como demonstrado no código presente no quadro 2 necessita de alguns parâmetros como: cliente, nome do tópico que recebe essa informação, os dados, a duração da mensagem e o nível de qualidade da mensagem, que garante o recebimento da informação.

Nas configurações do *Broker* foi inicialmente garantido que apenas clientes com usuário e senha tenham permissão de acesso para se conectar ao *Broker*, porém essa permissão não fornece ao cliente acesso a todo tráfego de mensagens.

Para assegurar que cada cliente publique no seu respectivo tópico, e limitar quem recebe essas publicações é utilizado o *Access Control List (ACL)* que permitiu definir quais tópicos cada cliente pode ler e/ou escrever. Todo usuário é registrado com um nome de usuário e senha, e esse nome é adicionado na lista de permissões junto ao tópico em que pode publicar informação de consumo e unidade habitacional.

Assim, o cliente necessita da autenticação, via usuário e senha, e da liberação de acesso para publicar e/ou escrever. E cada unidade habitacional por uma senha única recebe permissão de acesso para o envio de dados do seu respectivo tópico.

Para o envio de dados para a conexão com o banco foi criado um usuário e senha, habilitado a permissão de leitura por parte do usuário de todos os tópicos presentes no banco.

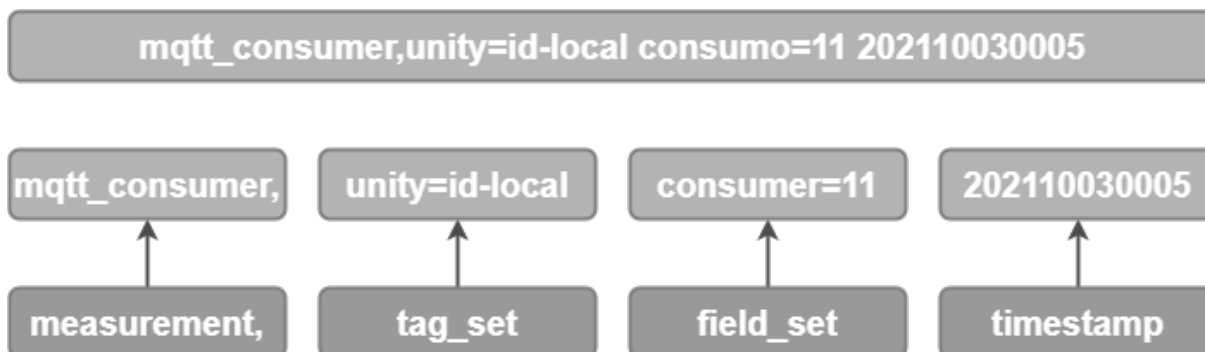
3.2.7 BANCO DE DADOS

O banco de dados foi implementado utilizando o *InfluxDB* devido ao seu alto desempenho de coleta e consulta de dados, otimizado para séries temporais ou com registro de data e hora.

Para o armazenamento de dados no banco de dados *InfluxDB* existem alguns formatos de entrada aceitos, como, CSV, JSON *input*, XML, *InfluxDB Line Protocol input*. Para o desenvolvimento utilizamos o último formato citado.

No formato de entrada *InfluxDB Line Protocol input* temos algumas regras de sintaxe, como ilustra a figura 16 um modelo que deve ser seguido, e, caso o envio de dados não obedeça

Figura 16 – Sintaxe para envio dos dados ao InfluxDB



Fonte: Autoria própria

a essas regras, as informações quando chegam ao banco de dados são automaticamente rejeitadas.

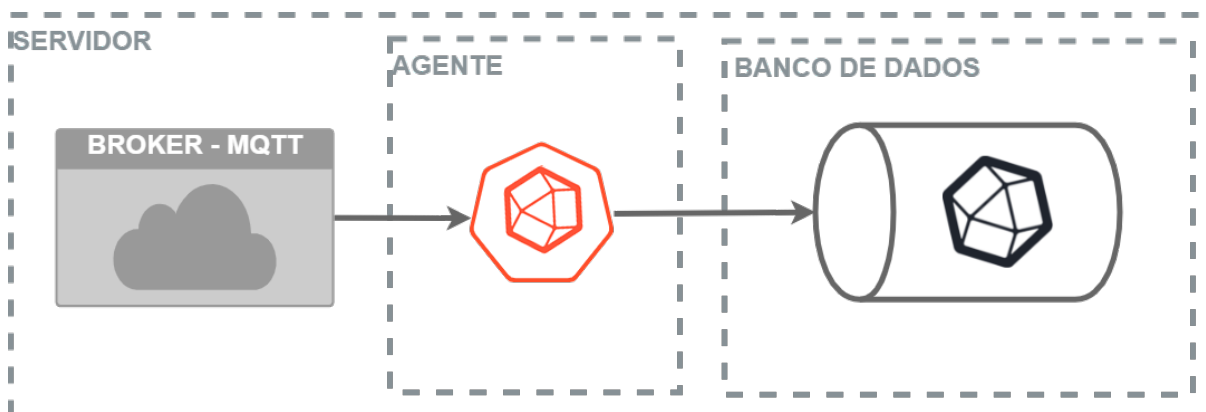
Se baseando neste protocolo foi definido o *measurement* como *mqtt_consumer*, como *tag_field* passamos o identificador do local que foi realizada a medida e o *field_set* como consumo. O *timestamp* que utilizamos é o recebido quando o dado chega ao *InfluxDB*.

3.2.8 INTEGRAÇÃO DO MQTT E DO BANCO DE DADOS

Os dados coletados pelo microcontrolador não são inseridos diretamente no banco de dados pelo protocolo MQTT, já que este protocolo realiza apenas o gerenciamento das mensagens que lhe chegam.

Para ocorrer essa inserção foi necessária utilização do *Telegraf*, um agente de servidor que realiza a comunicação entre o *Broker* MQTT e o banco de dados *InfluxDB*.

Figura 17 – Integração entre o *Broker* e o banco de dados



Fonte: Autoria própria

O *Telegraf* é configurado para receber, como entrada, os dados recebidos pelo Broker dos tópicos ao qual ele assina. E, é configurada sua saída de dados, de tal forma, a realizar a

inserção das informações no banco de dados. A visão geral dessa integração é visível na figura 17.

No *Telegraf* um pacote de dados é recebido do *Broker* com o tópico publicado. Esse pacote é inserido no banco de dados, se e somente se, a *string* recebida estiver nos protocolos de sintaxe.

Também para essa integração foi realizada a configuração do *Telegraf* com criação de usuário com acesso a todos os tópicos que trafegam no *Broker*, e também, criação de usuário para permissão para inserção no banco de dados.

3.2.9 VISUALIZAÇÃO GRÁFICA

O Grafana é um *software* de código aberto que permite a visualização e análise de dados. Ele foi utilizado para o protótipo, que obtém e armazena uma vasta quantidade de dados do consumo de água. Um exemplo de dashboard, que pode ser criado através da plataforma, é mostrado na figura 18.

Figura 18 – Exemplo de painel de controle com o Grafana



Fonte: Grafana (2020a)

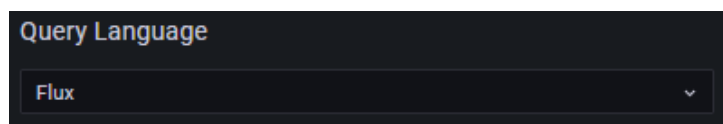
A utilização desta plataforma possibilita que sejam criados indicadores de consumo através de *queries*. Também permite a criação de alerta e métricas na própria plataforma (GRAFANA, 2020b) facilitando uma análise quantitativa dos dados.

Por se tratar de uma plataforma configurada e instalada em um servidor, quando o servidor estiver *online* tornará instantâneo o acesso às informações.

Os dados armazenados no banco são cadastrados nas configurações da Grafana, como segue:

Selecionar a linguagem de consulta ao banco de dados, figura 19.

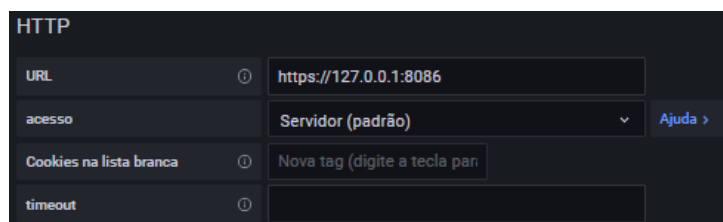
Figura 19 – Seleção da linguagem de consulta ao banco



Fonte: Autoria própria

A seguir cadastramos o endereço de IP e a porta utilizada pela instância do banco de dados, não sendo definido o timeout, figura 20.

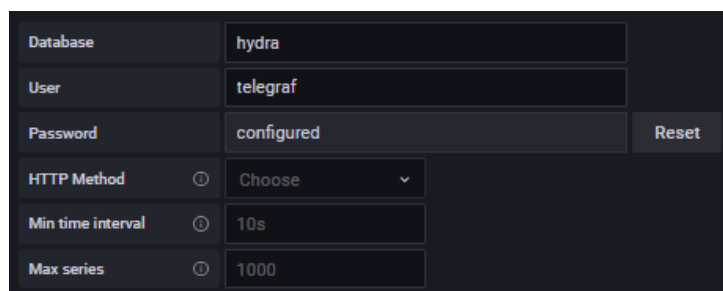
Figura 20 – Cadastro do endereço do banco de dados



Fonte: Autoria própria

Prosseguimos adicionando o nome do banco que armazena as informações, e, o usuário e senha para o compartilhamento de dados entre as ferramentas, figura 21.

Figura 21 – Inserção dos dados de acesso ao banco de dado



Fonte: Autoria própria

Após as configurações de integração entre a plataforma e o banco de dados, criaram-se alguns indicadores para visualização do consumo.

3.2.10 ALERTA DE CONSUMO

Para o envio de alerta foi criado um usuário *bot* no *Telegram*, e através desse usuário é realizado o envio das mensagens.

Na configuração da plataforma Grafana foi adicionada a API do usuário *bot* criado no *Telegram* e através dessa comunicação é realizado o envio do alerta.

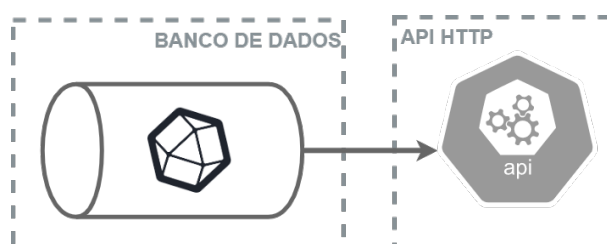
As configurações para a sinalização de gasto irregular neste projeto foi realizada de maneira simples, através da média de consumo e a definição de um limite para o gasto de água, então em caso de alterações abruptas de consumo em um instante curto de tempo realizará a emissão de alerta para o morador.

3.2.11 API DE COMUNICAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS

A comunicação entre o banco de dados e quaisquer sistemas de gerenciamento condominial será por uma API.

Essa ferramenta é um meio de realizar a integração entre os sistemas sem a necessidade de conhecer como cada um dos sistemas atuam, gerando economia de desenvolvimento da integração, já que é compartilhado apenas as informações que são necessárias.

Figura 22 – Comunicação com banco de dados através de API



Fonte: Autoria própria

Para o desenvolvimento da API foi utilizado o *framework NodeJS* e a linguagem *Javascript*. Esse framework foi escolhido devido a sua versatilidade, suportando múltiplas plataformas. E também por ser um *framework* de código aberto.

Na API desenvolvida foram criadas algumas *queries* para retornar informações do banco de dados. E, o resultado destas *queries* podem ser obtidos através do método GET da API.

Por meio da requisição dos dados os sistemas de gerenciamento condominiais tem acesso às informações de consumo das unidades habitacionais.

3.2.12 CONFIGURAÇÃO WIFI

Utilizando a biblioteca *Open Source* disponível ao *kit* de desenvolvimento ESP-IDF baseado no *FreeRTOS*, a *WifiManager Pottier* (2020), foi adicionado ao trabalho uma configuração essencial a dispositivos sem uma *interface* de visualização, a configuração pelo usuário ao seu dispositivo. Essa funcionalidade permite ao usuário ao ligar a primeira vez o dispositivo através do modo-infraestrutura se conectar ao microcontrolador ESP32.

O usuário se conectará a rede do microcontrolador, acessando o IP 10.10.0.1 terá acesso a uma página para informar o SSID da rede e a senha. Assim que realizada a conexão o modo-infraestrutura de conexão é finalizado e o dispositivo é conectado a Internet.

4 TESTES REALIZADOS

Com o protótipo criado foram realizados testes de comunicação entre os componentes do sistema que compõem o protótipo, verificou-se as *interfaces* com o usuário, gráficos de consumo e alerta para o usuário, bem como a integração com o sistema de gerenciamento condominial.

4.1 COMUNICAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS

Foi realizado testes entre as comunicações do sistema, de modo a analisar o transporte dos dados no sistema.

No *Broker* podemos observar através dos *logs*, no quadro 3 o recebimento dos dados do microcontrolador e o envio destes dados ao *Telegraf* que está assinando o tópico:

Quadro 3 – Log do Broker

```
1628557976: Received PUBLISH from ESP32_286B0C
(d0, q0, r0, m0, 'flow', ... (36 bytes))
1628557976: Sending PUBLISH to Telegraf-Consumer-MC1L8
(d0, q0, r0, m0, 'flow', ... (36 bytes))
1628557977: Received PUBLISH from ESP32_286B0C
(d0, q0, r0, m0, 'flow', ... (36 bytes))
1628557977: Sending PUBLISH to Telegraf-Consumer-MC1L8
(d0, q0, r0, m0, 'flow', ... (36 bytes))
1628557978: Received PUBLISH from ESP32_286B0C
(d0, q0, r0, m0, 'flow', ... (36 bytes))
1628557978: Sending PUBLISH to Telegraf-Consumer-MC1L8
(d0, q0, r0, m0, 'flow', ... (36 bytes))
```

O *Telegraf* no que lhe concerne realiza o envio das informações recebidas ao banco de dados InfluxDB via *POST*. Os dados são armazenados em um banco criado chamado *Hydra*.

Os dados são recebidos conforme o protocolo de entrada de dados, visto em 3.2.7, o protocolo de linha do Influx, como se observa no *log* do quadro 4.

Nesta consulta realizada no banco, temos o *timestamp* com a data e hora que a informação foi inserida no banco, *consumer* representando o consumo até aquele instante de tempo, *host* o local da máquina que está hospedando o servidor, *topic* é o nome do tópico e *unity* representa o local das informações coletadas.

Quadro 4 – Consulta ao banco de dados

```
> select * from mqtt_consumer
name: mqtt_consumer
time                consumer host      topic  unity
-----
1628559143456178900 2        Keiko-ACER flow    223D
1628559156456278100 4        Keiko-ACER flow    223D
1628559157449654800 6        Keiko-ACER flow    223D
1628559160445769600 7        Keiko-ACER flow    223D
1628559162450207900 11       Keiko-ACER flow    223D
1628559173458060800 12       Keiko-ACER flow    223D
1628559182457775200 13       Keiko-ACER flow    223D
1628559183455908700 15       Keiko-ACER flow    223D
1628559198458220700 17       Keiko-ACER flow    223D
1628559199458917400 22       Keiko-ACER flow    223D
```

4.2 VISUALIZAÇÃO DE CONSUMO PELA PLATAFORMA

O acesso ao Grafana é realizado via navegador *web*, portanto, se torna muito acessível ao morador da unidade habitacional. Para este trabalho a configuração da plataforma Grafana foi em um servidor local, bem como as demais ferramentas que necessitam de hospedagem, como, banco de dados e o *Broker* MQTT.

Com a integração do banco de dados InfluxDB e a Grafana, através do *Telegraf*, obtivemos os dados de consumo da unidade. Na configuração do *dashboard* foi definido o gráfico de consumo.

Figura 23 – Gráfico de consumo da unidade habitacional



Fonte: Autoria própria

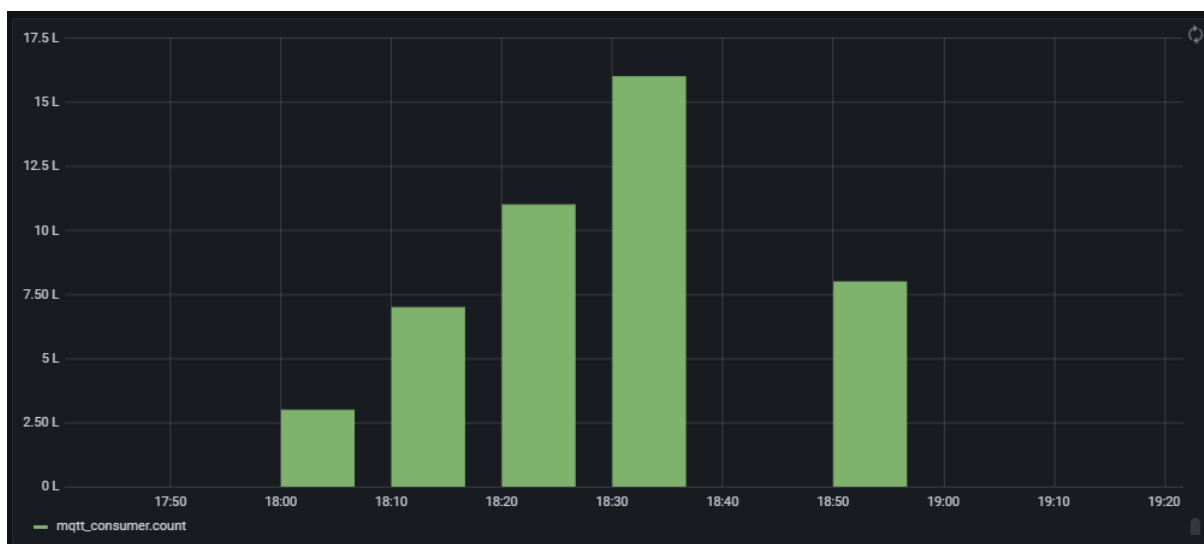
Como se observa na figura 23 em intervalos de 5 minutos é retornada a quantidade de litros de água captadas pelo protótipo do hidrômetro digital, para essa representação utilizamos a seguinte *query* que pode ser visualizada no quadro 5.

Quadro 5 – Consulta do consumo da unidade habitacional

```
SELECT count("consumer")
FROM "mqtt_consumer"
WHERE ("topic" = 'flow ')
AND $timeFilter GROUP BY time(5m)
```

Utilizamos também um gráfico de barras para indicar o consumo em intervalos de 10 minutos, como mostra a figura 24.

Figura 24 – Gráfico de consumo da unidade habitacional



Fonte: A autoria própria

Para essa consulta utilizamos a *query* demonstrada no quadro 6, que em intervalos de 10 (dez) minutos retorna a quantidade de água consumida em litros.

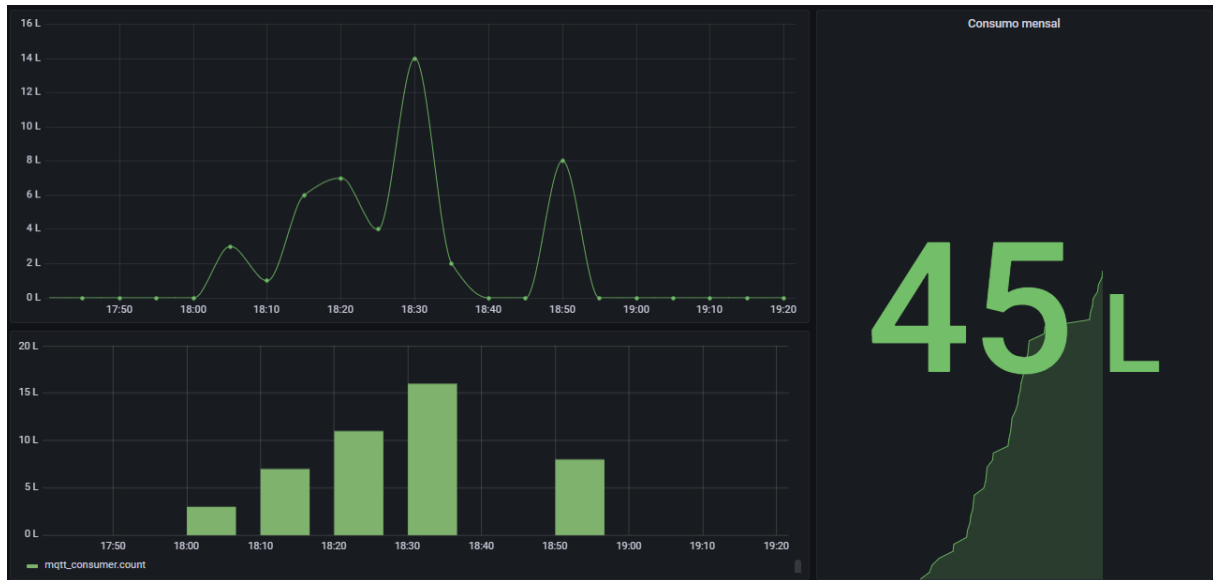
Quadro 6 – Consulta do consumo da unidade habitacional

```
SELECT count("consumer")
FROM "mqtt_consumer"
WHERE ("topic" = 'flow ')
AND $timeFilter GROUP BY time(10m)
```

O *Dashboard* geral, da figura 25 é composto pelo gráfico de linha com o consumo da unidade, onde a cada 5 (cinco) minutos é inserido o total de litros de água consumidos naquele

período, um gráfico de barras com o consumo no intervalo de tempo de 10 minutos e um valor com indicativo do uso total de água no mês.

Figura 25 – Dashboard



Fonte: Autoria própria

Para a query de consumo geral utilizamos a consulta presente no quadro 7. E adicionamos uma função da plataforma Grafana de tempo relativo para a filtragem do mês atual a qual é realizada a pesquisa.

Quadro 7 – Consulta do consumo da unidade habitacional

```
SELECT "consumer"
FROM "mqtt_consumer"
WHERE ("topic" = 'flow')
AND $timeFilter
```

Assim, quando o condômino acessar o sistema na tela inicial estes gráficos aparecerão de modo a facilitar o entendimento dos gastos de água do morador da unidade habitacional.

4.3 RECEBIMENTO DE ALERTA DE CONSUMO

Integrando a Grafana com o Telegram foi criado um *bot* para envio de alerta quando as métricas configuradas forem acionadas, a figura 26 temos um exemplo de alerta.

Para as configurações, em um intervalo de 15 minutos, é verificado se a média da medição recebida pelo protótipo do hidrômetro digital naquele intervalo ultrapassou o limite estabelecido. O intervalo de 15 minutos foi utilizado devido ao número pequeno de amostras coletadas, podendo ser expandido e otimizado a um intervalo de tempo maior.

Figura 26 – Gráfico de consumo com o alerta



Fonte: Autoria própria

Assim, quando ultrapassado o limite de consumo, o *bot* realiza o envio da mensagem diretamente para o Telegram do usuário, alertando-o sobre o excedente em seu consumo.

Para a criação do alerta não foi realizada uma análise complexa no consumo da unidade habitacional, porém, é possível criar diversas regras para o disparo do alerta. E também, caso seja de interesse do morador da residência, é possível a criação de alerta conforme a rotina da residência.

4.4 INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA DE GERENCIAMENTO CONDOMINIAL

A API desenvolvida entrega ao sistema de gerenciamento os valores de consumo através de uma requisição GET, abaixo temos um exemplo de requisição no quadro 8.

Quadro 8 – URL para requisição de dados

```
http://127.0.0.1:3003/influx
```

Temos um exemplo de retorno da requisição de GET com retorno dos valores de consumo da unidade no quadro 9.

A utilização desta API permitirá que a integração entre o sistema que faz a medição das unidades condominiais ocorra de forma simples, com um método de compartilhamento facilitado.

Quadro 9 – Retorno do GET da requisição na API

```
[
  {
    "time": "2021-08-10T01:32:23.456Z",
    "consumer": 2,
    "host": "Keiko-ACER",
    "topic": "flow",
    "unity": "223D"
  },
  {
    "time": "2021-08-10T01:32:36.456Z",
    "consumer": 4,
    "host": "Keiko-ACER",
    "topic": "flow",
    "unity": "223D"
  },
  {
    "time": "2021-08-10T01:32:37.449Z",
    "consumer": 6,
    "host": "Keiko-ACER",
    "topic": "flow",
    "unity": "223D"
  }
]
```

4.5 ANÁLISE COMPARATIVA DE PREÇOS

Realizada a cotação de dispositivos de medição de fluxo de água comercial obtemos resultados mostrados na tabela 3.

Tabela 3 – Cotação de medidores de fluxo comerciais.

Modelo	Custo
Electronic turbine meter K24	R\$ 312,90
Digital Flow Meter	R\$ 237,77

Fonte: Autoria própria

Para fins de comparativo foi realizado o levantamento dos componentes físicos necessários para a construção do protótipo, bem como a precificação destes componentes.

A busca dos materiais foi realizada para obter o menor custo para a construção do dispositivo e que, mesmo sendo de baixo custo atendesse os requisitos para medir o consumo de água com eficiência.

Tabela 4 – Cotação do Protótipo.

Componentes	Modelo	Custo
Microcontrolador	ESP32	R\$ 40,00
Sensor de fluxo	YF-S201	R\$ 46,08
Módulo de alimentação		R\$ 9,90
Resistores		R\$ 0,14
Total		R\$ 96,12

Fonte: Autoria própria

Com base no orçamento realizado para a construção do protótipo deste trabalho que pode ser visualizado na tabela 4, podemos constatar a obtenção de um protótipo de baixo custo em relação aos já existentes.

Outro ponto que vale ressaltar é que nenhuma das soluções comerciais encontradas até a presente data oferecem comunicação Wi-Fi. E, os produtos comerciais encontrados apenas realizam a medida de vazão com visualização na própria tela contida no dispositivo.

Na análise comparativa o modelo de mercado *Electronic turbine meter k24* é cerca de 225,53% de maior valor que o protótipo desenvolvido.

Tabela 5 – Comparativo entre Electronic turbine meter K24 e o Protótipo do Hidrômetro Digital.

	Modelo	Custo
	Electronic turbine meter K24	R\$ 312,90
	Protótipo do Hidrômetro Digital	R\$ 96,12

Fonte: Autoria própria

Já o *Digital Flow Meter* é cerca de 147,37% mais caro que o protótipo do hidrômetro desenvolvido neste trabalho.

Tabela 6 – Comparativo entre Digital Flow Meter e o Protótipo do Hidrômetro Digital.

	Modelo	Custo
	Digital Flow Meter	R\$ 237,77
	Protótipo do Hidrômetro Digital	R\$ 96,12

Fonte: Autoria própria

Neste comparativo podemos concluir que foi possível obter um dispositivo de medição hídrica de baixo custo.

5 CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido neste trabalho fornece um sistema de medição a unidades habitacionais composto pela integração de várias tecnologias. Resultando na entrega da medição do consumo que vem otimizar o tempo da gerência condominial, também levando ao morador da residência o controle de gasto hídrico.

O sistema de medição obtido vem de encontro a proposta ao entregar um protótipo de preço no mínimo 59,57% menor ao valor dos produtos de prateleira existentes. Tendo em consideração que o valor dos componentes é baseado na compra comercial e não industrial, para a confecção deste dispositivo poderia ser obtido um valor mais competitivo.

A utilização do *framework FreeRTOS* viabilizou o uso de periféricos do microcontrolador que são acessíveis apenas com o uso dele, como o caso do sensor de pulsos. O uso desta tecnologia também facilitou a implementação do protocolo MQTT e da adição ao projeto de um meio de conexão a Internet ao nível comercial, por fornecer a opção de inserção de rede Wi-Fi no modo *Access Point*.

O uso do Grafana permitiu a visualização das informações coletadas de forma simples, além de, a possibilidade de inserir alerta conforme as métricas pertinentes ao morador visando economia, e também segurança na ocorrência de vazamentos.

Com a possibilidade de controle de consumo, visto que no atual momento a crise hídrica é um fator real no cotidiano, este sistema pode ser um agente auxiliar ao tornar o usuário ciente de seu consumo.

No desenvolvimento deste trabalho, ocorreram dificuldades, pela impossibilidade de acesso ao laboratório, onde seriam realizados todos os testes. Bem como na aquisição dos componentes para realizar o controle de tensão entre o sensor e o microcontrolador. Também o trabalho com hidráulica foi um fator de dificuldade, principalmente para a coleta de dados para análise, onde foi necessário montar uma pseudo caixa d'água com registro para fazer a calibragem do sensor e coletar os dados de consumo para realizar os gráficos.

O protótipo não inclui defeitos na circulação de água, tal como, ar nas tubulações. Também não realiza um tratamento de dados mais sofisticado que permita, por exemplo, analisar o consumo padrão sazonal de cada condômino.

Como trabalhos futuros, sugerem-se, a inclusão do ar nas tubulações, tratamento de dados para padrão sazonal, aprofundamento nas consultas que podem ser realizadas utilizando o Grafana, explorando as funções matemáticas que tornariam os resultados de consumo mais detalhados.

Referências

- CRIVELARO, C. **Banco temporal Influxdb + Grafana: Operando sua Plataforma**. Accessed, 2016. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/celsocrivelaro/banco-temporal-influxdb-grafana-operando-sua-plataforma>>. Acesso em: 27 de novembro de 2020. Citado na página 8.
- DAE, E. da R. Hidrômetros: Evolução e importância. **Revista DAE**, v. 193, p. 86–87, 2013. Citado na página 5.
- ELECTRONICS, H. **YF-S201 Hall Effect Water Flow Meter / Sensor**. 2020. Disponível em: <<https://www.hobbytronics.co.uk/yf-s201-water-flow-meter>>. Acesso em: 21 de novembro de 2020. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.
- ESPRESSIF. **ESP32**. accessed, 2020. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>>. Acesso em: 04 de novembro de 2020. Citado na página 12.
- ESPRESSIF, E. D. **On-line**. Accessed, 2020. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf>. Acesso em: 18 de novembro de 2020. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- FERNANDES, C. V. et al. Modelagem de banco de dados não relacional em plataforma big data visando dados de internet das coisas. Universidade Federal de Mato Grosso, 2017. Citado na página 7.
- FERREIRA, R. A.; HENKES, J. A. Uma análise sobre a sustentabilidade em um condomínio residencial. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 4, p. 810–836, 2018. Citado na página 1.
- FRANÇA, F. A. Instrumentação e medidas: grandezas mecânicas. **UNICAMP. Campinas**, 2007. Citado na página 5.
- GRAFANA. **Grafana**. accessed, 2020. Disponível em: <<https://grafana.com>>. Acesso em: 27 de outubro de 2020. Citado na página 22.
- GRAFANA. **What is Grafana**. accessed, 2020. Disponível em: <<https://grafana.com/docs/grafana/latest/getting-started/what-is-grafana>>. Acesso em: 27 de outubro de 2020. Citado na página 22.
- HAT, R. **INTERFACE DE PROGRAMAÇÃO DE APLICAÇÕES - O que é API?** Accessed, 2020. Disponível em: <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>>. Acesso em: 27 de novembro de 2020. Citado na página 9.
- HELENE, O. **Métodos dos Mínimos Quadrados**. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2006. Citado na página 6.
- IBM. **IBM MQ Telemetry Transport format and protocol**. accessed, 2020. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/pt-br/SSFKSJ_8.0.0/com.ibm.mq.ref.doc/q049190_.htm>. Acesso em: 05 de novembro de 2020. Citado na página 19.

- INFLUXDB. **Time series database (TSDB) explained**. Accessed, 2020. Disponível em: <<https://www.influxdata.com/time-series-database>>. Acesso em: 23 de outubro de 2020. Citado na página 8.
- LIMA, B. C. et al. Sistema de medição individualizada de água: estudo de caso de edifício comercial em são paulo. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 11, n. 3, 2016. Citado na página 3.
- MENDES, E. B. Vocabulário internacional da metrologia. 2016. Citado na página 5.
- OLIVEIRA, E.; KOIDE, S. **UMA ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA EM PRÉDIOS RESIDENCIAIS - HIDRÔMETROS INDIVIDUAIS, TIPOLOGIA DA CONSTRUÇÃO E CONDIÇÃO ECONÔMICA DO USUÁRIO**. 2020. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/5aead08221ced4a519a18d302b95b37f_a67040e539bea23039edfb5356f75df6.pdf>. Acesso em: 01 de novembro de 2020. Citado na página 1.
- PM, T. **esp-mqtt**. Accessed, 2015. Disponível em: <https://github.com/tuanpmt/esp_mqtt>. Acesso em: 15 de maio de 2021. Citado na página 19.
- POTTIER, T. **What is esp32-wifi-manager**. Accessed, 2020. Disponível em: <<https://github.com/tonyp7/esp32-wifi-manager>>. Acesso em: 15 de maio de 2021. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.
- REDHAT. **O que é API**. Accessed, 2021. Disponível em: <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>>. Acesso em: 4 de agosto de 2021. Citado na página 9.
- Rinaldi, S. et al. Impact of data model on performance of time series database for internet of things applications. In: **2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6. Citado na página 7.
- SABESP. Manual de instrução para implantação, gestão e mudanças de hábitos, no programa de redução em consumo de água. SABESP, 2017. Citado na página 4.
- SENADO, A. **Lei obriga novos prédios a adotar hidrômetros individuais**. 2016. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/07/13/lei-obriga-novos-predios-a-adotar-hidrometros-individuais>>. Acesso em: 17 de novembro de 2020. Citado na página 3.
- SUN, A. Y. et al. Building complex event processing capability for intelligent environmental monitoring. **Environmental Modelling & Software**, v. 116, p. 1 – 6, 2019. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815218307242>>. Citado na página 8.
- TEAM, T. H. **Introducing the MQTT Protocol - MQTT Essentials: Part 1**. 2015. Disponível em: <<https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-1-introducing-mqtt>>. Acesso em: 18 de novembro de 2020. Citado na página 7.
- THOMAZINI, D. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2005. Citado na página 5.