Sistema de Monitoramento e Controle de Consumo Hídrico utilizando Dispositivos Inteligentes

Gabriel Henrique da Silva Júnior, Rodolfo Francisco de Oliveira

[1]Curso Superior de Análise e Desenvolvimento de Sistemas
Instituto Federal São Paulo (IFSP) - Campus Hortolândia – SP – Brasil

gabriel.junior@aluno.ifsp.edu.br, rodolfo.oliveira@ifsp.edu.br

Abstract. *The increasing demand for sustainable water consumption solutions drives the use of the Internet of Things to optimize water resource management. This paper presents the development of a monitoring and control system for water consumption, installed on a residential faucet. The collected data was transmitted via MQTT and visualized through dashboards in Grafana. The system demonstrated measurement efficiency despite minor variations. Test validation confirmed its feasibility and potential to encourage sustainable water usage. Future work will address improvements in measurement accuracy and explore new application contexts.*

Resumo. *A crescente demanda por soluções sustentáveis no consumo de água impulsiona o uso da Internet das Coisas para otimização do uso dos recursos hídricos. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle do consumo hídrico, instalado em uma torneira residencial. Os dados coletados foram transmitidos via MQTT e visualizados em dashboards no Grafana. O sistema demonstrou eficiência em medições, apesar de pequenas variações. A validação dos testes confirmou sua viabilidade e potencial para incentivar o uso sustentável da água. Trabalhos futuros abordarão melhorias na precisão das medições e explorarão novos contextos de aplicação.*

1. Introdução

A crescente preocupação com a sustentabilidade e o uso eficiente dos recursos naturais tem impulsionado a busca por soluções inovadoras em diversas áreas, incluindo o gerenciamento do consumo de água. Em ambientes domésticos e públicos, as torneiras são uma fonte significativa de consumo de água potável, muitas vezes desperdiçada devido a hábitos inadequados de uso. O Programa de Uso Racional da Água (PURA) desenvolvido na Grande São Paulo pela Sabesp em parceria com a USP, mostra que os desperdícios da água utilizada atingem níveis nunca imaginados. Alguns exemplos frequentes: tomar banho muito prolongados, lavar calçadas, pátios e carros com o jato da mangueira, utilização de equipamentos sanitários obsoletos, tais como torneiras de rosca, utilização de água tratada em atividades que não exigem água potável, como para descargas sanitárias ou utilização de água potável em processos industriais, tais como em torres de resfriamento. (REBOUÇAS, 2003)

Neste contexto, propõe-se o desenvolvimento de um protótipo de torneira inteligente que visa otimizar o uso da água e conscientizar os usuários sobre seus hábitos de consumo. O protótipo será integrado a um sistema *web*, capaz de monitorar e registrar o consumo de água em tempo real. Para isso, serão utilizadas tecnologias como

ESP32 (um microcontrolador com conectividade Wi-Fi e *Bluetooth*), protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) e linguagens de programação como Python. A torneira inteligente proposta se conectará à Internet e enviará dados sobre o consumo de água sempre que for acionada. Esses dados serão recebidos por uma aplicação *web*, que calculará e exibirá estatísticas detalhadas sobre o volume de água utilizado em diferentes intervalos de tempo (diário, semanal e mensal). A visualização dessas informações pretende sensibilizar os usuários quanto ao seu consumo de água e incentivá-los a adotar práticas mais sustentáveis.

A necessidade de soluções tecnológicas para o uso eficiente da água é amplamente reconhecida na literatura. Estudos anteriores como os de Silva (2019) e Holland (2020), têm abordado o desenvolvimento de sistemas de monitoramento de consumo de água, utilizando diversas tecnologias e abordagens. No entanto, a maioria desses trabalhos foca na medição e monitoramento sem uma integração robusta com plataformas *web* que proporcionem um *feedback* imediato e detalhado para os usuários. Este trabalho se diferencia ao integrar diretamente os dados coletados por uma torneira inteligente com uma aplicação *web* interativa, oferecendo uma ferramenta de visualização e análise que pode efetivamente influenciar os hábitos de consumo dos usuários, assim como observado nos estudos de Dornelas (2017) e Melo (2018), onde funcionalidades de controle em tempo real dos recursos são aplicadas.

Este estudo visa contribuir para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que promovam a conscientização ambiental e o uso sustentável dos recursos hídricos, preenchendo uma lacuna existente na literatura atual sobre sistemas de gerenciamento de consumo de água.

Na sequência deste artigo, será apresentada uma revisão bibliográfica dos principais conceitos teóricos relacionados ao projeto (Capítulo 2), seguida pelos Trabalhos Correlatos (Capítulo 3) e pela Metodologia adotada (Capítulo 4), baseada em prototipagem. Em seguida, são detalhados o levantamento de requisitos e o projeto do banco de dados (Capítulo 5), além do desenvolvimento do protótipo e da aplicação web (Capítulo 6). Os resultados obtidos são analisados no Capítulo 7, e por fim, o Capítulo 8 apresenta as conclusões do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica dos principais tópicos que o trabalho aborda, a saber: Internet das Coisas, Casas / Prédios Inteligentes e Redes de Sensores sem Fio.

2.1. Internet das Coisas

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), termo comumente conhecido pela sua autointitulada abreviação em inglês, ‘IoT’ (*Internet of Things*), nasce do conceito de interligar objetos não identificáveis diversos a redes de computadores, atribuindo a eles um endereçamento IP (*Internet Protocol*) único, o que os permite: serem identificados por seu endereço, se comunicar e transmitir dados coletados por meio de redes de sensores sem fio e da Internet. De maneira simplificada, o termo pode ser compreendido como objetos com pequenos sensores embutidos que podem se conectar entre si para

trocar dados e informações, formando um ecossistema de computação ubíqua, utilizado para a facilitação no cotidiano das pessoas com soluções funcionais. (Magrani, 2018)

Considera-se que o criador do termo seja o pesquisador britânico Kevin Ashton, quando o introduziu pela primeira vez para nomear sua apresentação para executivos da Procter & Gamble (P&G) em 1999, sobre a possibilidade de "facilitar a logística da cadeia de produção, através de identificadores de rádio frequência (*RFID*)". Apesar de inteligentes, dispositivos IoT necessitam de configurações para que otimizem seu desempenho. Para Ashton, o amplo desafio da IoT está em ensinar a estes dispositivos: "se tivéssemos computadores que conhecessem tudo o que existe sobre as coisas reais - usando dados que eles mesmos agrupam, nós poderíamos, por exemplo, acompanhar tudo, o que reduziria imensamente o desperdício, perdas e custos". (Ashton, 2014, p. 6)

Apesar de sua ampla popularidade e divulgação ser encontrada décadas mais tarde, o conceito de prover poder computacional e/ou algum tipo de inteligência e comunicação a objetos, por meios computacionais, tecnológicos e sensoriais, podem ser observadas nas ideias, previsões e citações feitas por Alan Turing em 1950, quando citou "[...] fornecer à máquina os melhores órgãos sensoriais que o dinheiro pode comprar e depois ensiná-la a entender e a falar em inglês. Esse processo poderia seguir o ensino normal de uma criança". (Proudfoot, 2017)

As aplicações da IoT na atualidade podem abranger diferentes áreas e locais, desde ambientes domésticos como casas e prédios inteligentes, sistemas de energia, segurança, transportes, indústria, saúde, agricultura, logística e meio ambiente. (Massola, 2018) Em residências podem ser utilizadas no acionamento e ajuste de dispositivos domésticos remotamente. No transporte, indústria e agricultura, podem ser encontrados em larga escala: monitorando toda sua estrutura e cadeia de produtos, presentes em qualquer tipo de objeto físico ou virtual inteligente, conectando-os e fornecendo dados precisos para determinar melhores escolhas, a fim de promover uma melhoria contínua, garantindo melhores resultados financeiros e de performance.

Estima-se por meio de pesquisa, que o setor terá um grande impacto econômico global, podendo atingir cerca de US$ 5,5 trilhões a US$12,6 trilhões em valor até 2030, sendo responsável pela maior parcela deste montante, o setor fabril: cobrindo cerca de 26% (US$1,4 a US$3,3) em 2030, seguido pelo setor da saúde, sendo representante de uma parcela de 10% a 14% do valor econômico estimado para a IoT. (McKinsey, 2021)

2.2. Casas / Prédios Inteligentes

O termo Casa Inteligente (*Smart Home*) é utilizado para definir uma residência que possua dispositivos que possam se comunicar uns com os outros e podem ser controlados por um sistema de controle (Meneguzzi, 2014), geralmente comandado a partir de aplicações em: celulares, *tablets*, *desktops* ou por dispositivos assistentes, como o *Echo Dot* ou *Google Home*. Em definição mais ampla, (BALTA-OZKAN, 2013) define que: uma Casa Inteligente é uma casa equipada com uma rede de alta tecnologia que conecta sensores, dispositivos domésticos, eletrodomésticos e recursos que podem ser monitorados, acessados ou controlados remotamente e fornece serviços que atendem as necessidades das pessoas.

Essas tecnologias quando inseridas em uma residência, permitem o uso destes sistemas para monitorar a temperatura dos ambientes, umidade dos quartos, aumentar ou diminuir a iluminação de um ambiente, ligar para a emergência em caso de incêndio (SILVA, 2021). Essas automações e facilitações aliam-se com anseios de pessoas que residem nestes espaços, podendo auxiliar até mesmo na segurança domiciliar, utilizando câmeras de segurança inteligentes para detectar situações de necessidade e tomar medidas necessárias de acordo com suas configurações.

O objetivo comum dos dispositivos inteligentes presentes nas Casas Inteligentes está em automatizar tarefas cotidianas, promovendo uma menor interação tátil dos usuários com os objetos físicos, controlando e configurando-os remotamente, como por exemplo em aspiradores de pó inteligentes, onde cabe ao usuário configurá-lo para que realize a limpeza do solo do ambiente autonomamente. As automações e melhorias em relação ao funcionamento usual dos objetos são enormes e motivadores, como um sensor de luminosidade em uma área externa que a lâmpada na presença de uma pessoa, evitando o usual pressionamento do interruptor (SILVA, 2021).

Os aspectos sociais e econômicos modificaram-se significativamente após o ano de 2020, onde o período pandêmico estimulou o trabalho remoto e com isso, as pessoas passaram a estar mais tempo em suas residências, o que pode ter gerado uma motivação maior para tornar seu ambiente mais funcional e confortável (Santa, 2023), seja automatizando itens domésticos ou tendo como companhia o seu assistente pessoal de inteligência artificial.

O mesmo conceito pode ser encontrado em outros tipos de construções residenciais, como em prédios, que por sua vez vem sendo cada vez mais requisitados devido à demanda populacional. Os Prédios Inteligentes são construções planejadas desde sua concepção e construção para proporcionar um ambiente mais produtivo, econômico, seguro e confortável (Neoenergia, 2022), com foco na economia dos recursos, desde sua obra até a utilização de recursos pelos usuários finais. O uso de tecnologias de *Smart Buildings*, como: elevadores inteligentes, portarias inteligentes, circuito de monitoração (Circuito Fechado de Televisão), captação e reuso de água de ar-condicionado e chuva, medição de consumo elétrico e hídrico remoto por andar em edifícios; São fatores que coletivamente geram benefícios comuns para os moradores, além de proporcionar a diminuição do impacto ambiental (Neoenergia, 2022).

2.3. Redes de Sensores sem Fio

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) podem ser definidas por uma composição de diversos sensores de baixo custo e consumo elétrico, que são distribuídos e conectados em uma rede, transmitindo os dados entre si através da rede e direcionando-os para um nó de ponto de coleta de dados ou *sink* (observado na Figura 1), sendo estes sensores de tamanho reduzidos e recursos de processamento limitados, contudo, capazes de medir e recuperar informações do ambiente e transmitir estes dados utilizando uma rede de comunicação (SILVA JÚNIOR, 2017).

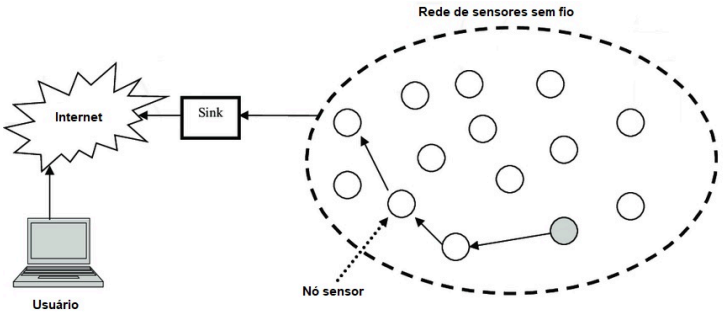

Figura 1. Estrutura de uma Rede de Sensores sem Fio. Traduzida e adaptada pelo autor. Fonte: (SHRIVASTAVA, 2017)

Por serem concebidas para monitorar algum evento específico, são inúmeros os tipos de aplicações desenvolvidas para RSSFs utilizando um ou mais tipos de nós sensores, podendo estas, serem heterogêneas em relação aos tipos de sensores, dimensões e suas funcionalidades. Um mesmo nó sensor pode receber em um mesmo nó diversos tipos de dados coletados via rede, como por exemplo em uma câmera de vigilância, onde podem ser recebidos por um mesmo nó sinais de: imagem, áudio e vídeo (LOUREIRO, 2003).

A gestão energética é um dos principais desafios nas RSSF, pois em alguns casos, os nós têm sua alimentação feita por meio de baterias, que por sua vez, podem acabar dificultando o prolongamento da vida útil da rede (KAZEM, 2007). Outro fator desafiador para as RSSF é a escalabilidade, sendo um fator de preocupação, principalmente em redes que abrangem uma grande área, como a rede de monitoramento de uma cidade inteligente, o que exige uma alta eficiência no roteamento e na comunicação entre os nós (ZHENG, 2014).

Dentre seus campos de aplicação, são encontradas não somente nas indústrias ou nas cidades, mas também em regiões remotas e no campo: na agricultura de precisão podem ser utilizadas para monitorar variáveis ambientais, como a umidade do solo e a temperatura, permitindo melhores escolhas de plantio, melhoria na gestão dos recursos hídricos e consequentemente, no aumento da produtividade das colheitas (ALCANTUD, 2017). Na pecuária de precisão, podem ser encontradas monitorando de forma constante e individual, o peso do gado, evitando remover os animais de seu habitat, promovendo um processo de engorda precisa, menores perdas por estresse animal e maximizando a produtividade.

A área de estudos das RSSF está sempre em constante evolução, contando com diversos trabalhos recentes pesquisando novas técnicas e tecnologias, a utilização de algoritmos de aprendizado de máquinas (*Machine Learning)* tem sido um campo de inovação promissor, para otimizar o desempenho das RSSF, melhorando a precisão na detecção de eventos e reduzindo o consumo de energia (RANGEL, 2018). Além disso, sua integração a outras tecnologias, como a Internet das Coisas, abre novas possibilidades para o desenvolvimento de aplicações mais sofisticadas e interconectadas (DOMINGUESCHE, 2021).

3. Trabalhos Correlatos

Esta seção apresenta trabalhos que se assemelham ao tema abordado no artigo, servindo de inspiração para o seu desenvolvimento a partir de suas conclusões e resultados obtidos. Para pesquisa dos trabalhos correlatos, foram utilizados os termos “Internet of Things”, “Water Consumption Measurement System” e “Smart House”. As plataformas utilizadas para pesquisa foram o Google Acadêmico e o IEEExplore. O período de pesquisas deu-se no mês de Maio de 2024. Dentro da pesquisa, foram destacados três trabalhos que se assemelham à proposta do presente trabalho.

Em seu artigo intitulado “Monitoramento de Consumo Doméstico de água Utilizando uma Meta-Plataforma de IoT”, Donerlas (2017) descreve a implementação de um protótipo de monitoramento de água para uso doméstico. Seu sistema faz a utilização de uma meta-plataforma de IoT de código aberto, o que permite a medição imediata do consumo e disponibiliza os dados obtidos em tempo real através da internet. Como ponto forte pode-se destacar a eficácia do protótipo ao realizar a medição do consumo hídrico, obtendo um baixo custo nos componentes utilizados e sua facilidade de implantação aliada a plataformas de código aberto.

Melo (2018) apresenta uma solução para monitoramento de consumo de água utilizando o protocolo MQTT junto a plataforma NodeMCU. Seu sistema permite visualizar os dados coletados em uma página *web* e a implementação demonstrou resultados satisfatórios, reforçando a ênfase de uma abordagem de baixo custo e fácil implementação, gerando benefícios que contribuem para a conscientização e o uso racional da água.

Na abordagem de Tasong (2019), é apresentado um sistema de consumo de água em tempo real, com aplicações para uso residencial e também comercial. Utilizando sensores de fluxo de água conectados a um NodeMCU, que por sua vez transmite os dados para um banco de dados em nuvem Heroku, estes dados podem ser visualizados através de uma interface web, o que possibilita análises visuais do consumo de água em tempo real, apresentando uma alta precisão do sistema, com uma média de assertividade de 99.38% nos testes realizados.

Na Tabela 1, são apresentados comparativos de características e funcionalidades dos trabalhos correlatos e também do presente trabalho, abordando pontos de comum relevância, como observado:

Tabela 1. Tabela de comparação de funcionalidades

	Dornelas (2017)	Melo (2018)	Tasong (2019)	Gabriel (2024)
Medição em tempo real	✓	X	✓	✓
Interface web	✓	✓	✓	✓
Metodologia baseada em protótipo	✓	✓	✓	✓
Conexão via Wi-Fi	X	✓	✓	✓

4. Metodologia

Este trabalho utilizou a Metodologia baseada em Protótipos para o desenvolvimento da proposta em questão. Entre as metodologias comumente adotadas em projetos de IoT, a Metodologia Baseada em Protótipos é a que apresenta o maior percentual de adoção. Podemos definir protótipos como: "Artefato físico ou digital desenvolvido para compreender, explorar, avaliar e comunicar um ou mais atributos do produto que está sendo desenvolvido" (ALCOFORADO, 2007). Logo, nesta metodologia, são produzidos produtos de forma inicial, costumeiramente com baixo custo, para que sejam efetuados os devidos testes voltados às funcionalidades a qual o produto se propõe, possibilitando validar de forma antecipada a satisfação de seus requisitos.

Um ciclo de prototipação inicia-se com a obtenção dos requisitos do produto, tendo como passos base: a obtenção dos requisitos, o planejamento do protótipo, a construção do protótipo, a validação do protótipo e a conclusão a partir de seus testes (SOUZA, 2020). Seu encerramento se dá quando os requisitos são refinados e atendidos pela prototipação, gerando dados que podem ser utilizados para a implementação de um produto final, ou para estudos e desenvolvimentos futuros baseados nos resultados obtidos, que podem constatar a viabilidade de um projeto.

Dentre as boas práticas de prototipagem, como observadas por Christie (2012), para que o processo seja bem sucedido, se faz necessário:

- Manter os protótipos simples, focando apenas nas funcionalidades a serem analisadas;
- Alocar o tempo adequado para a engenharia, construção e teste do protótipo;
- Iniciar o processo de prototipagem cedo e frequentemente, utilizando-se de técnicas mais simplistas para explorar uma diversidade de conceitos de maneira rápida e econômica;
- Alinhar o processo de prototipagem com as análises de engenharia para a obtenção de um desenvolvimento mais efetivo.

Segundo SOUZA (2020), as vantagens oferecidas pela metodologia, como: melhor gerenciamento de tempo, processo de aprendizagem acentuado ao longo do processo, foco no resultado final e a possibilidade de realizar testes a cada nova interação, fazem com que sua escolha seja apropriada para diversos campos e áreas de atuação, baseando-se no ciclo ilustrado na Figura 2.

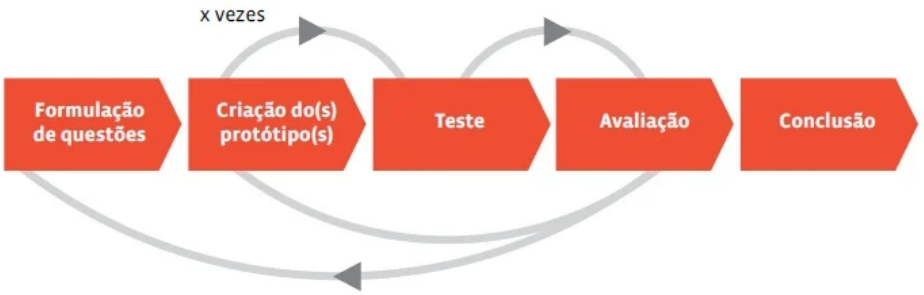

Figura 2. Prototipagem em Design Thinking Fonte: (MJV Innovation, 2016)

5. Apresentação da Proposta

Nesta seção, serão apresentadas as especificações a respeito do desenvolvimento do projeto, através de seus requisitos, diagramas e os descritivos relativos ao desenvolvimento da implementação.

A proposta do projeto visa o desenvolvimento de um protótipo de sistema de controle e monitoramento do fluxo de vazão hídrica residencial, contendo uma *interface web* baseada no *Grafana* para a visualização do controle do fluxo em tempo real. Esta interface permitirá o acompanhamento contínuo e a análise do consumo de água por meio de *dashboards* interativos e gráficos informativos.

Conforme ilustrado na Figura 3, o funcionamento do sistema ocorre da seguinte forma: um sensor de vazão mede o fluxo da quantidade de água que passa por ele e coleta os dados correspondentes. Esses dados são enviados para um microcontrolador, que, por sua vez, utiliza o protocolo MQTT para transmitir as informações a um banco de dados. Os dados armazenados são então consultados e utilizados para atualizar a interface *web* em tempo real. Esta atualização fornece ao usuário gráficos detalhados, permitindo um acompanhamento do consumo de água, além de oferecer *insights* a partir dos históricos para promover uma gestão eficiente dos recursos hídricos.

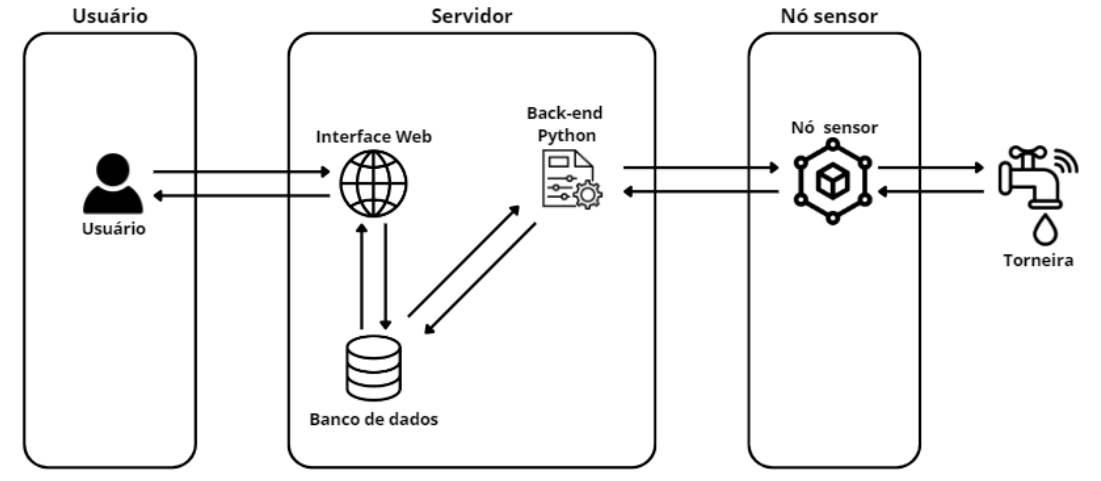

Figura 3. Arquitetura Geral do Sistema. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

5.1. Especificações dos requisitos

Na engenharia de *software*, segundo Sommerville (2019), os requisitos funcionais dizem respeito diretamente ao comportamento do sistema em diferentes condições, especificando quais ações espera-se que o sistema deva realizar em resposta a diferentes situações e cenários. Na Tabela 2 são apresentados os requisitos funcionais que integram o sistema, visando atender as expectativas do usuário em relação a sua utilização.

Tabela 2. Requisitos funcionais

Identificação	Nome	Descrição
RF01	Medir fluxo de água	O sistema deve medir o fluxo de água em tempo real usando o sensor de vazão.
RF02	Visualizar dados via web	O sistema deve permitir a visualização dos dados de consumo em um dashboard na *web*.
RF03	Gerar relatórios de consumo	O sistema deve gerar relatórios comparativos de consumo entre diferentes dias de medição.

Já os requisitos não-funcionais são restrições ou características de qualidade que o sistema deve atender. Eles não estão diretamente relacionados às funcionalidades, mas sim como essas funcionalidades serão executadas. Esses requisitos podem incluir desempenho, usabilidade, segurança e confiabilidade (Sommeville, 2019). Na tabela 3 são apresentados os requisitos não-funcionais esperados para o sistema.

Tabela 3. Requisitos não-funcionais

Identificação	Nome	Descrição
RNF01	Usabilidade	A *interface* do usuário deve ser intuitiva e de fácil compreensão.
RNF02	Desempenho	O sistema deve operar de maneira eficiente, com tempos de resposta rápidos para visualização em tempo real.
RNF03	Confiabilidade	O sistema deve garantir alta disponibilidade e minimizar o risco de falhas ou interrupções.
RNF04	Manutenibilidade	O sistema deve permitir fácil manutenção e atualização com mínima interrupção para o usuário.

A implementação visa atender ao requisito RNF01, tendo os demais requisitos não-funcionais, seu enfoque, aplicação e contestação em trabalhos futuros.

Proposta a arquitetura geral do sistema e seus requisitos, foi desenvolvido o Diagrama de Casos de Uso. Um Diagrama de Caso de Uso modela as interações entre um sistema e seus agentes, descrevendo suas funções e capturando os requisitos (IBM, 2021). O principal ator identificado foi o usuário (morador). Os casos de uso refletem as funcionalidades principais do sistema, permitindo que os usuários registrem seu consumo de água, visualizem dados estatísticos e gerar relatórios detalhados, assegurando uma visão ampla do consumo hídrico na residência. Na Figura 4 é apresentado o Diagrama de Caso de Uso de Usuário.

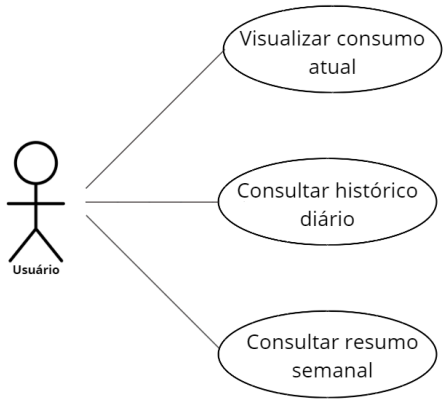

Figura 4. Diagrama de Caso de Uso (Usuário) Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

O Diagrama Entidade-Relacionamento (DER) é uma ferramenta fundamental utilizada para estruturar o banco de dados de um sistema, representando visualmente as entidades principais e como elas interagem entre si. Segundo Miro (2024), o DER auxilia no mapeamento das informações-chave, oferecendo uma visão detalhada das relações entre dados antes da implementação prática. Esse diagrama facilita a compreensão da estrutura do sistema e garante uma organização eficaz dos dados.

A Figura 5 apresenta o DER desenvolvido para o sistema, composto pelas entidades: Usuário, Dispositivo e Consumo.

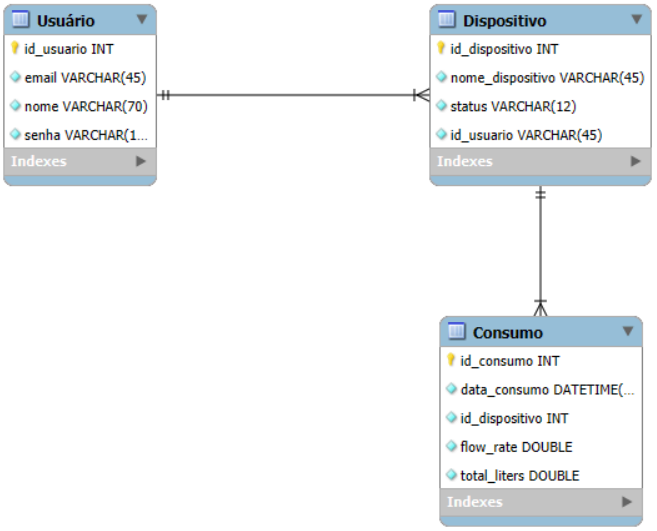

Figura 5. Diagrama Entidade-Relacionamento. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

A entidade “Usuário” possui informações de cada pessoa que utiliza o sistema, incluindo os atributos: id_usuario, nome, *e-mail* e senha. Esses dados permitem que o sistema identifique cada usuário e armazene suas informações de maneira segura, garantindo que cada usuário seja identificado de forma única.

A entidade “Dispositivo” armazena os dados específicos de cada dispositivo vinculado a um usuário, possuindo os atributos id_dispositivo, nome_dispositivo e status, que indica o estado atual do dispositivo, como ligado ou desligado. Dessa forma, o sistema pode identificar cada dispositivo e seu respectivo funcionamento, permitindo o controle individual de cada um.

Por último, a entidade “Consumo” registra o histórico de uso dos dispositivos, incluindo os atributos id_consumo, data_consumo, id_dispositivo, flow_rate e total_liters. Esses dados permitem monitorar o consumo ao longo do tempo, armazenando informações detalhadas sobre cada utilização, armazenando de forma incremental os respectivos consumos e facilitando o gerenciamento do uso associado a cada dispositivo.

6. Implementação da Proposta

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas utilizadas para implementar a proposta, bem como um descritivo do desenvolvimento da solução.

6.1. Ferramentas Utilizadas

Esta seção apresenta as principais tecnologias utilizadas no desenvolvimento do sistema. Cada ferramenta foi escolhida para atender às necessidades específicas do projeto, proporcionando funcionalidades que garantem o desempenho e a satisfação dos requisitos.

6.1.1 Microcontrolador ESP32

A ESP32 é uma plataforma microcontrolador de alta performance, que possui conectividade Wi-Fi e *Bluetooth* integradas. Amplamente utilizada em projetos de Internet das Coisas (IOT), a ESP32 é capaz de gerenciar sensores, atuar em automações e se comunicar com outros dispositivos de maneira eficiente (Espressif, 2023). Sua versatilidade e baixo consumo de energia a tornam uma escolha ideal para a implementação neste projeto, com ele foi possível conectar o sensor de fluxo de água e transmitir os dados em tempo real para o servidor através do protocolo MQTT, permitindo uma comunicação rápida e eficiente entre o sensor e o sistema de monitoramento. A Figura 6 apresenta uma ilustração do ESP32.

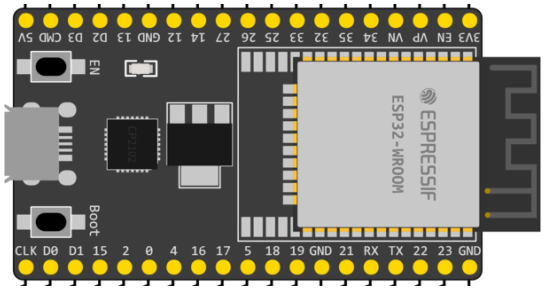

Figura 6. ESP32. (Fonte: Espressif, 2022)

6.1.2 Sensor de fluxo de água

O Sensor de Fluxo de Água de 1/2″, modelo YF-S201 é um dispositivo utilizado para medir a vazão de líquidos, funcionando por meio de uma turbina que é acionada pelo fluxo de água. Este componente é composto por um sensor *Hall*, vedação externa, turbina, ímã e carcaça, que juntos permitem a medição da vazão através de pulsos digitais gerados pela interação do ímã e do sensor.

Quando a água passa pela entrada do sensor, ela aciona a turbina, que gira de acordo com a intensidade do fluxo. O ímã, posicionado na turbina, gera um sinal de pulso detectado pelo sensor *Hall*, que envia a informação ao microcontrolador. A quantidade de pulsos emitidos está diretamente relacionada à vazão da água: quanto maior o fluxo, maior será a contagem de pulsos por minuto.

O sensor possui três terminais principais: *VCC* (vermelho), responsável pela tensão de entrada entre 3,3 e 5 volts; *GND* (preto), que conecta o módulo ao terra; e o terminal de saída digital (amarelo), que transmite os pulsos de contagem da vazão para o microcontrolador, como a ESP32. (Angelo Lyra, 2022)

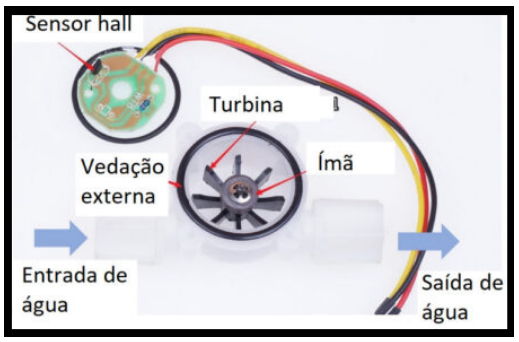

Figura 7. Imagem interna do sensor de vazão de água. Fonte: (Portal Vida de Silício, 2022)

6.1.3 MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo leve de comunicação voltado para redes IoT. Esse protocolo permite a transmissão eficiente de dados em redes com largura de banda limitada, sendo ideal para dispositivos como sensores e atuadores (HIVEMQ, 2024). No projeto, o MQTT é utilizado para enviar os dados de fluxo de água da ESP32 para o servidor, que posteriormente armazena os dados no banco de dados.

6.1.4 Python

A linguagem de programação Python é uma linguagem interativa, interpretada e orientada a objetos. Com sua notável sintaxe clara, ela possui módulos, classes, exceções, tipos de dados dinâmicos de altíssimo nível e tipagem dinâmica (Python.org, 2018), além de possuir uma vasta gama de bibliotecas voltadas ao desenvolvimento dinâmico e simplificado, aplicada a diversas gamas de desenvolvimento, sendo empregada na construção do *script* que processa e organiza os dados recebidos via MQTT e posteriormente os armazena no banco de dados de forma automatizada e constante.

6.1.5 Grafana

Para a visualização e monitoramento de dados em tempo real, utilizou-se a plataforma de visualização Grafana. Esta ferramenta permite a criação de *dashboards* dinâmicos e personalizados, possibilitando a análise dos dados de consumo de maneira clara e organizada para diferentes períodos através de gráficos e disposições visuais quantitativas a respeito dos dados coletados nos diferentes períodos (Grafana Labs, 2023). No projeto, o Grafana fornece gráficos e relatórios interativos que permitem ao usuário final monitorar o fluxo de água em tempo real, visualizar comparativos e identificar padrões de consumo ao longo do tempo.

6.2. Desenvolvimento

O desenvolvimento do sistema foi dividido em três camadas principais: *hardware, back-end e front-end*. Cada uma delas desempenha um papel fundamental no funcionamento e na interação do sistema com o usuário final.

6.2.1. *Hardware*

A parte física do projeto utiliza a ESP32, que é responsável por coletar dados do sensor de vazão hídrica e transmitir essas informações via protocolo MQTT. O sensor de fluxo é configurado para medir a quantidade de água utilizada em litros por minuto e o volume acumulado em mililitros. A ESP32 faz a publicação dos dados no tópico MQTT "sensorFluxo" em intervalos regulares. O código implementado na ESP32 realiza as seguintes funções principais:

- Configuração e calibração do sensor de vazão;
- Contagem de pulsos para calcular a taxa de fluxo;
- Conversão da taxa de fluxo para litros por minuto (L/min);
- Conexão com a rede via Wi-Fi e publicação dos dados no *broker* MQTT;
- Reconexão automática ao *broker* e a rede Wi-Fi em caso de alguma falha;

Na Figura 8 é apresentada a representação da ligação lógica e eletrônica feita entre o microcontrolador ESP-32 e o sensor de vazão, tendo conectado o cabo VCC (vermelho), ao pino de alimentação 3V3; GND (preto), conectado ao pino GND; e o terminal de saída digital (amarelo), conectado ao pino lógico D4.

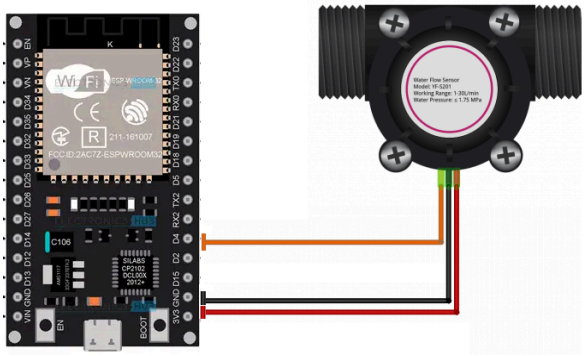

Figura 8. Diagrama representativo do protótipo. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

6.2.2. *Back-end*

O back-end foi desenvolvido com a linguagem Python utilizando a biblioteca Paho MQTT para coletar os dados do *broker* MQTT. Esses dados são processados, convertidos e armazenados na tabela Consumo no banco de dados *MySQL*. As funcionalidades principais do *back-end* incluem:

- Inscrição no tópico “sensorFluxo” para receber dados;
- Recebimento de mensagens MQTT e conversão dos valores de fluxo e volume;
- Conexão com o banco de dados;
- Inserção dos dados processados na tabela de consumo do banco de dados;

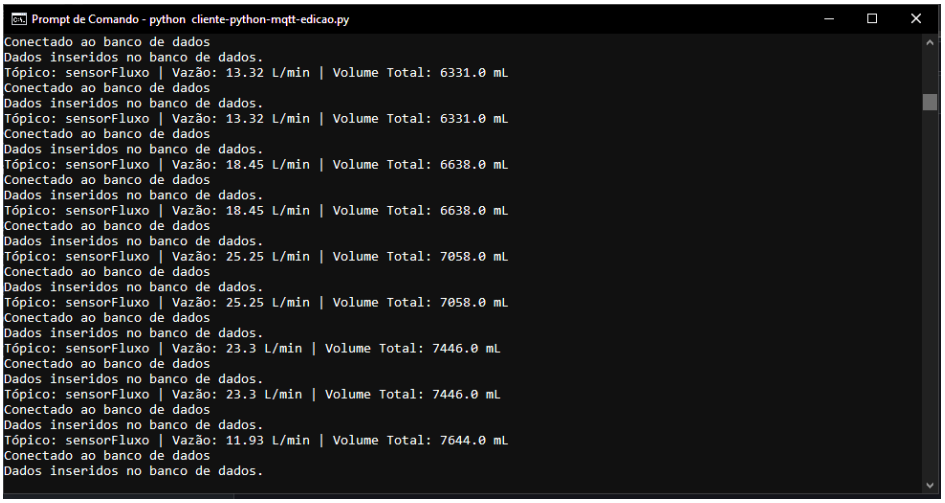

Figura 9. *Feedback* Cliente Python-MQTT. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

6.2.3. Front-end

O *front-end* utiliza *PHP* para gerenciar a autenticação dos usuários e fornecer links para os painéis do Grafana. A visualização dos dados é feita diretamente no Grafana, que exibe gráficos interativos e tabelas para análise de consumo hídrico. As principais funcionalidades do *front-end* incluem:

- *Login*: Permite autenticação de usuários utilizando credenciais armazenadas no banco de dados. As senhas são criptografadas com o algoritmo *MD5*.

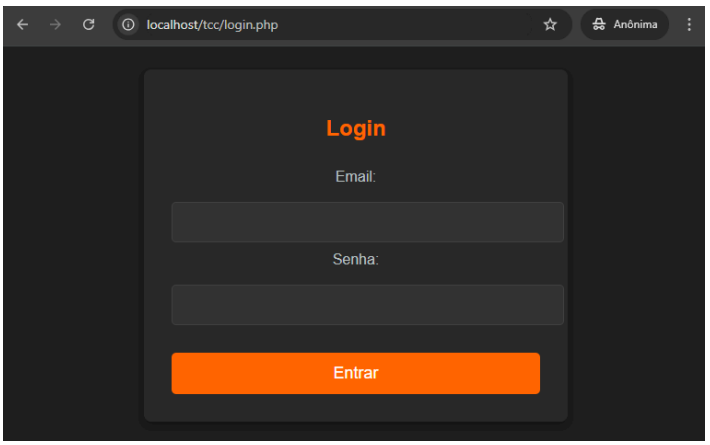

Figura 10. Página de *login* do sistema. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

- Dispositivos: Uma vez autenticado, direciona-se o usuário à página de dispositivos associados ao mesmo e fornece um *link* direto para o *dashboard* relacionado do Grafana.

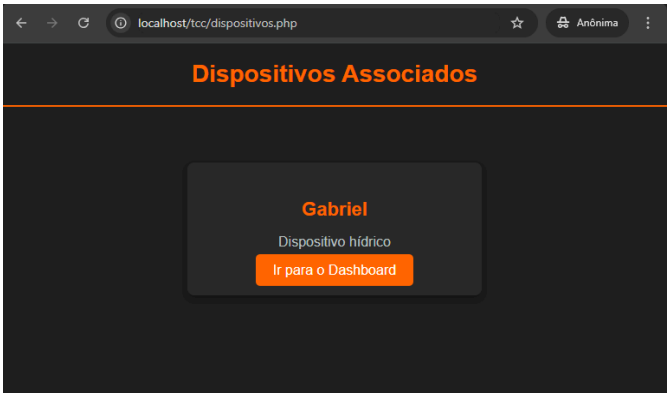

Figura 11. Página de dispositivos do usuário. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

6.2.4. Painéis no Grafana

No Grafana, foram configurados os seguintes painéis para análise dos dados:

- Consumo Atual: Exibe a taxa de fluxo em tempo real (L/min).
- Consumo de Hoje: Mostra o volume total consumido no dia atual.
- Consumo de Ontem: Mostra o volume total consumido no dia anterior.
- Consumo da semana: Exibe o consumo diário acumulado nos últimos 7 dias.

Figura 12. Dashboard Grafana. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

7. Resultados Obtidos

O protótipo desenvolvido foi instalado em uma torneira residencial para validação de sua funcionalidade em um ambiente real. O dispositivo permaneceu em operação contínua por um período superior a duas semanas, permitindo a coleta de dados de consumo hídrico a cada acionamento da torneira. Durante esse período, foram monitorados e registrados os dados de consumo hídrico em tempo real, os quais puderam ser acessados por meio da *interface web* configurada com o Grafana. A análise

dos registros coletados demonstrou que o sistema foi capaz de realizar medições consistentes e apresentar os resultados de maneira clara e intuitiva por meio dos painéis desenvolvidos.

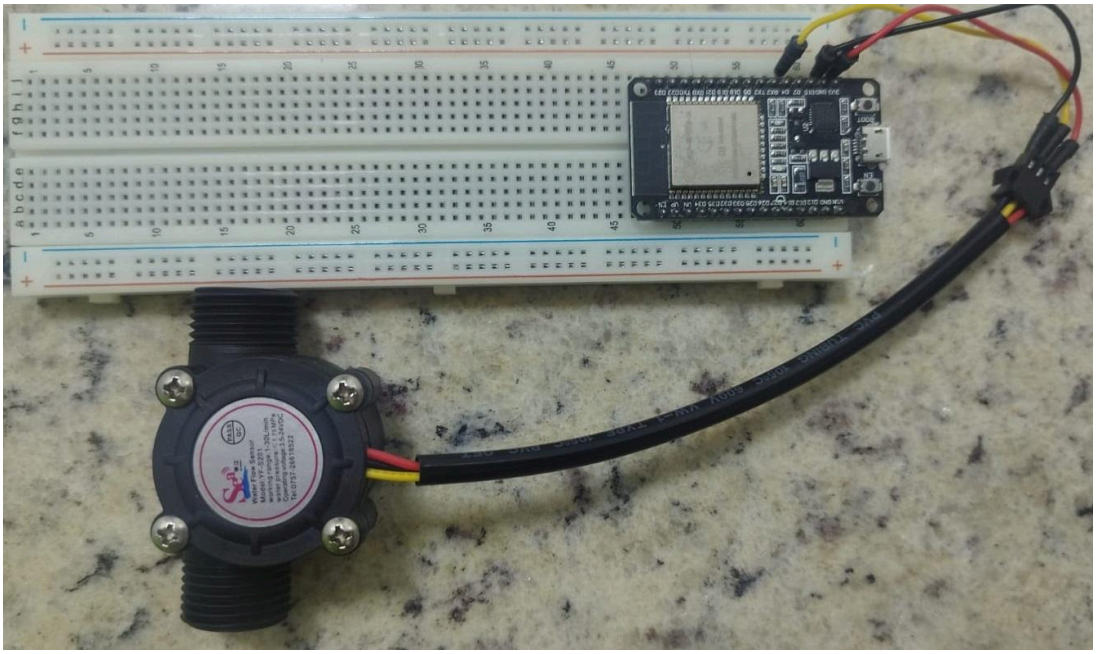

Figura 13. Testes práticos do projeto - Protótipo. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2025)

Além do monitoramento contínuo, foi realizada uma avaliação da precisão do sistema. Para esse teste, utilizou-se um medidor de litros para comparar os valores registrados pelo protótipo com os valores reais do consumo. Os resultados apontaram uma pequena variação na precisão das medições, com diferenças observadas entre 30 ml e 70 ml a menos nas quantidades medidas pelo sistema em relação ao volume real. Apesar dessas variações, que podem ser consideradas marginais no contexto geral do consumo diário, o sistema se mostrou eficiente na captura e transmissão dos dados de consumo hídrico. Os resultados obtidos validam a proposta inicial do projeto, destacando tanto a funcionalidade do *hardware* quanto a integração com o *software* e o banco de dados.

Figura 14. Testes práticos do projeto - Painel. Fonte: (Elaborado pelo autor, 2024)

Os *dashboards* configurados no Grafana apresentam visualizações dos dados coletados pelo sensor, que são emitidos via protocolo MQTT, coletados e tratados pelo back-end que os insere no banco de dados, a partir de consultas *SQL* específicas geradas para cada painel, filtram a informação conforme as instruções e geram os dados de forma visual, incluindo gráficos de consumo diário, comparativos semanais e totais acumulados. Essas funcionalidades podem demonstrar ao usuário o seus hábitos de consumo ao longo dos dias e da semana. Por fim, os resultados também apontam para possíveis melhorias e otimizações futuras, como o aumento da precisão das medições e a análise de outros contextos de uso do protótipo, ampliando seu alcance e aplicabilidade em cenários diversos.

8. Conclusões

O desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle de consumo hídrico proposto neste trabalho permitiu a validação técnica do protótipo, demonstrando sua capacidade de realizar medições em tempo real, transmitir dados para um banco de dados por meio do protocolo MQTT, e disponibilizar visualizações através de *dashboards* interativos no Grafana. Os testes realizados mostraram que o sistema conseguiu capturar e exibir as informações de maneira contínua, contribuindo para uma melhor compreensão do consumo hídrico em residências.

Embora o sistema tenha apresentado pequenas variações na precisão das medições, os resultados obtidos indicam que aprimoramentos podem ser implementados para aumentar a exatidão dos dados coletados. O projeto também destacou a importância da integração de tecnologias emergentes, como IoT e monitoramento em tempo real, no contexto de gestão sustentável de recursos hídricos.

Para trabalhos futuros, sugere-se aprimorar a precisão do sistema de medição, reduzindo as possíveis variações nos dados coletados. Além disso, a implementação de um sistema de análise preditiva baseado em aprendizado de máquina para estimar padrões de consumo e alertar os usuários sobre excessos ou desperdícios. Outra possibilidade visa a ampliação do sistema para aplicações de âmbito comercial, como estabelecimentos que dependem de grande consumo hídrico, proporcionando uma gestão mais eficiente do recurso.

O desenvolvimento deste projeto contou com conhecimentos adquiridos em diversas disciplinas do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas. As disciplinas de Linguagem de Programação e Desenvolvimento *Web* foram fundamentais para a criação da interface e sua integração com os dados monitorados. A disciplina de Engenharia de *Software* contribuiu para a definição de requisitos e modelagem do sistema. A disciplina de Redes de Computadores foi fundamental para a implementação do protocolo de comunicação MQTT, possibilitando a comunicação eficiente entre o sensor e o servidor. A disciplina de Banco de Dados permitiu a implementação da estrutura de armazenamento e consulta de dados. A combinação dos conhecimentos agregados pelas disciplinas foi um fator determinante para a construção do protótipo e validação da proposta apresentada.

9. Referências

ALCANTUD, M. Aplicação de redes de sensores sem fio na agricultura de precisão: uma reflexão teórica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (ENEPE), 2017, Presidente Prudente. Anais [...]. Presidente Prudente: UNOESTE, 2017.

ALCOFORADO, M. G. Metodologia centrada nos protótipos: Um caminho para inclusão de usuários no processo de design. 15º Ergodesing. 2007.

ASHTON, Kevin. Entrevista sobre Internet das Coisas e Inovação. Entrevista concedida por Nome do Entrevistador. Local não especificado, data não especificada. Disponível em: http://finep.gov.br/images/revista/revista18/index.html#p=6. Acesso em: 23 jul. 2024.

BALTA-OZKAN, N.; DAVIDSON, R.; BICKET, M.; WHITMARSH, L. Social barriers to the adoption of smart homes. Energy Policy, v. 63, p. 363-374, 2013.

DOMINGUESCHE, F. Desenvolvimento de uma plataforma de Internet das Coisas (IoT) integrado a redes de sensores sem fio. *Revista Técnica da FATEC de Americana*, v. 2, n. 1, 2021.

DORNELAS, Everton & Oliveira, Sérgio. (2017). Monitoramento de consumo doméstico de água utilizando uma meta-plataforma de IoT. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada. 2. 10.25286/repa.v2i2.575.

ESPRESSIF, ESP32 (s.d.) Disponível em: https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32

HIVEMQ, Introduction to MQTT, 2024. Disponível em: https://www.hivemq.com/blog/how-to-get-started-with-mqtt/

HOLLAND, Helder, “Proposta de economia de água em torneira de acionamento automático”, REDE, vol. 4, nº 1, p. 110–117, dez. 2020.

IBM, Diagramas de Caso de Uso, 2021. Acesso em: 13 nov. 2024.

KAZEM, H.; SOHRABY, K. Wireless Sensor Networks: Principles and Practice. [S.l.]: Digital Forensic Forest, 2017. Acesso em: 23 jul. 2024.

LOUREIRO, J. A.; NOGUEIRA, J. S.; RUIZ, E. A.; MINI, L. M.; NAKAMURA, A. Y.; FIGUEIREDO, A. L. Detecção de perdas em sistemas de distribuição de água através de rede de sensores sem fio. *Revista Brasileira de Sistemas de Computação*, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 1-12, 2003.

MAGRANI, Eduardo. *Internet das Coisas*. 1. ed. Rio de Janeiro: Casa do Código, 2018. Disponível em: http://eduardomagrani.com/livro-internet-da-coisas-2018/. Acesso em: 23 jul. 2024.

MASSOLA, S. C.; PINTO, G. S. O USO DA INTERNET DAS COISAS (IOT) A FAVOR DA SAÚDE. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 124–137, 2018. DOI: 10.31510/infa.v15i2.515.

MCKINSEY & COMPANY. The next normal arrives: trends that will define 2021 and beyond. McKinsey & Company, Data de publicação não especificada. Acesso em: 23 jul. 2024.

MELO, Rodrigo Cassiano da Silva. Sistema de monitoramento de consumo de água utilizando o protocolo de comunicação MQTT. 2018. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

MENEGUZZI, Felipe Rech. *A smart home model using JaCaMo framework*. In: 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2014, Porto Alegre, Brasil. Porto Alegre: IEEE, 2014. p. 1-6.

MIRO, Diagrama Entidades de Relacionamento, 2024. Disponível em: https://miro.com/pt/modelos/diagrama-entidades-relacionamento/

NEOENERGIA. O que são e como funcionam os edifícios inteligentes. Disponível em:https://www.neoenergia.com/w/o-que-sao-e-como-funcionam-os-edificios-inteligentes. Acesso em: 23 jul. 2024.

Portal Vida de Silício, Sensor de Fluxo de Água, 2022. Disponível em: https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-fluxo-de-agua-medindo-vazao-arduino/

PROUDFOOT, Diane. *Child machines*. In: COPELAND, Jack; BOWEN, Jonathan; SPREVAK, Mark; WILSON, Robin. *The Turing Guide*. Oxford: Oxford University Press, 2017. p. 0.

RANGEL, Elivelton Oliveira. Otimização de Redes de Sensores Visuais sem Fio por Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo. 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2018.

REBOUÇAS, Aldo da C. BAHIA ANÁLISE & DADOS Salvador, v. 13, n. ESPECIAl., p. 341-345, 2003.

SANTA, Richard. Mercado de dispositivos domésticos inteligentes na América Latina. *AVI Latinoamérica*, México, 03 out. 2023.

SILVA, Deivid de Almeida Padilha. O Uso da Tecnologia em Casas Inteligentes. Revista de tecnologia Invest, Artigo 7. Disponível em: https://revista.institutoinvest.edu.br/index.php/revistainvest/article/view/48/38

SILVA, Francisco Felipe da. Torneira inteligente com controle de fluxo e ativação automática para redução de desperdício dos recursos hídricos. 2019. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Quixadá, 2019.

SILVA JÚNIOR, João. Detecção de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água através de Rede de Sensores Sem Fio, 2017.

SOMMERVILE, I. *Engenharia de Software* (10ª ed.), 2019.

SOUZA, Modelo de desenvolvimento de software: A PROTOTIPAÇÃO, 2020.

ZHENG, Yu Sheng, Baoxian & Li, Cheng & Mouftah, H.T.. (2014). Routing Protocols for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks: A Survey. Communications Magazine, IEEE. 52. 150-157. 10.1109/MCOM.2014.6852097.

Documento Digitalizado Restrito

Artigo - Versão Final

Assunto: Artigo - Versão Final
Assinado por: Rodolfo Oliveira
Tipo do Documento: Anexo
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Restrito
Hipótese Legal: Direito Autoral - conservar a obra inédita (Art. 24, III, da Lei nº 9.610/1998)
Tipo do Conferência: Documento Digital

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rodolfo Francisco de Oliveira**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 21/03/2025 16:40:39.

Este documento foi armazenado no SUAP em 21/03/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifsp.edu.br/verificar-documento-externo/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1975969
Código de Autenticação: 340789f88f