



Sistema de Monitoramento de Consumo de Água Doméstica com Reuso para Sustentabilidade

Ana Beatriz de Carvalho Morato, Andre Luis de Oliveira

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)
Rua da Consolação, 930 Consolação, São Paulo - SP, 01302-907 – Brazil

Abstract

The increasing global demand for water and the need for sustainable consumption have prompted the development of innovative solutions to optimize water usage in domestic environments. This work proposes the creation of a low-cost, easy-to-implement water consumption monitoring system, aiming to reduce water waste and promote the reuse of water from sinks and showers in household applications. The system uses Arduino-based microcontroller technology, coupled with water flow sensors and ultrasonic level sensors, to monitor consumption and water quality. The system also controls the reuse of water for non-potable purposes, such as flushing toilets. This project intends to contribute to the achievement of Sustainable Development Goal (SDG) 6, related to clean water and sanitation, by fostering more conscious water use.

Resumo

A crescente demanda global por água e a necessidade de um consumo sustentável têm impulsionado o desenvolvimento de soluções inovadoras para otimizar o uso da água em ambientes domésticos. Este trabalho propõe a criação de um sistema de monitoramento de consumo de água de baixo custo e fácil implementação, com o objetivo de reduzir o desperdício de água e promover o reuso da água proveniente de pias e chuveiros para aplicações domésticas. O sistema utiliza a tecnologia de microcontroladores baseados em Arduino, combinada com sensores de fluxo de água e sensores ultrassônicos de nível, para monitorar o consumo da água. O sistema também controla o reuso da água para fins não potáveis, como a descarga de vasos sanitários. Este

projeto visa contribuir para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, relacionado ao acesso à água potável e ao saneamento, incentivando um uso mais consciente da água.

Introdução

A escassez de água é um problema crescente, especialmente em áreas urbanas, onde o desperdício em ambientes domésticos é significativo. Tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) oferecem soluções eficientes para monitorar e otimizar o consumo de água. Este projeto visa desenvolver um sistema de baixo custo, utilizando Arduino, sensores de fluxo e de nível de água, para monitorar o consumo doméstico e permitir o reuso da água de pias e chuveiros em atividades não potáveis, como a descarga de vasos sanitários. Alinhado ao ODS 6, o sistema busca reduzir o desperdício de água e promover práticas mais sustentáveis de consumo.

Para permitir a integração do sistema com a Internet, será utilizado o protocolo MQTT, uma tecnologia leve e eficiente, ideal para aplicações de Internet das Coisas (IoT). Os dados coletados pelos sensores (como o volume de água consumida e o nível do reservatório) serão publicados em tópicos MQTT em tempo real. Isso possibilita que usuários ou servidores externos recebam essas informações instantaneamente, facilitando o monitoramento remoto e a análise histórica do consumo de água.

A comunicação MQTT será implementada por meio da interface serial entre o Arduino e uma máquina que executa um script Python. Esse script, utilizando a biblioteca PubSubClient, enviará os dados coletados para os tópicos MQTT. O sistema será integrado a um broker MQTT, utilizando o serviço gratuito HiveMQ, e a implementação ocorrerá na plataforma PyCharm.

Materiais e Métodos

O sistema desenvolvido para o monitoramento e reuso de água doméstica utiliza materiais de baixo custo, mas eficientes para o controle automatizado da água consumida em residências. A seguir, são apresentados os componentes de hardware e software utilizados.

Hardware Utilizado:

1). Arduino Uno R3 Atmega328 Smd:

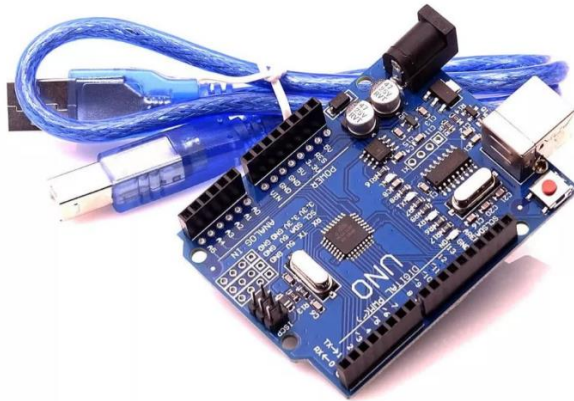


Figura 1: Escolhido como o microcontrolador central do sistema, devido à sua popularidade, baixo custo e versatilidade. Ele processa os dados dos sensores e controla a bomba de água, acionando-a quando necessário.

2). Sensor Hall Fluxo Vazão Água 1/2 - 30l/minuto:



Figura 2: Mede a quantidade de água consumida em tempo real, gerando pulsos proporcionais ao fluxo de água, que são contados pelo Arduino para calcular o volume de água consumido.

3). Sensor Ultrassônico HC-SR04:



Figura 3: Mede o nível de água no reservatório de reuso, emitindo ondas ultrassônicas e calculando o tempo de retorno para determinar a distância até a superfície da água.

4). Mini Bomba Água Sapo Submersa Jt100 5v Dc 120l Para Arduinos:



Figura 4: Responsável por transferir a água armazenada no reservatório para usos não potáveis, como a descarga de vasos sanitários. Controlada pelo Arduino via um relé.

5). Módulo de relé 1 canal 5v com Leds:

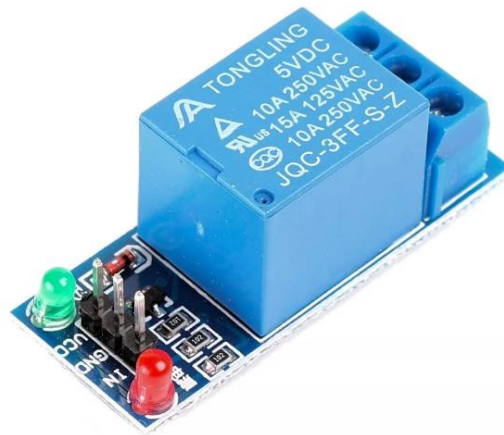


Figura 5: Utilizado para controlar a bomba submersível, pois o Arduino não fornece a corrente necessária para acioná-la diretamente.

6). Jumper Fio 40/pcs De 20cm Macho/fêmea Para Arduino:



Figura 6: Utilizados para interligar os componentes eletrônicos na protoboard e no Arduino, garantindo conexões seguras e organizadas.

7). Protoboard 830 Pontos / Breadboard 830 Furos Arduino:

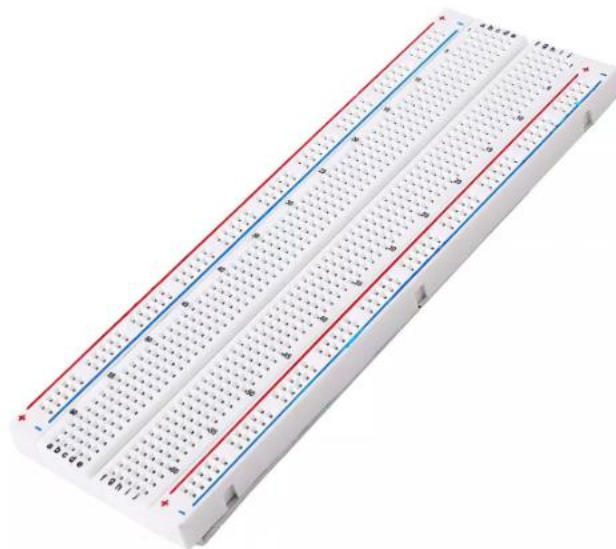


Figura 7: Utilizado para realizar as conexões entre os componentes eletrônicos do sistema, permitindo a montagem e os testes do circuito sem a necessidade de soldagem.

8). Fonte Adaptador Energia Bivolt Universal 5v 2a Ac/dc Tv Box



Figura 8: A fonte bivolt é utilizada para fornecer alimentação adequada ao Arduino e aos demais componentes do sistema.

9). Notebook:



Figura 9 – Atua como gateway, recebendo os dados do Arduino por meio da interface serial (via cabo USB) e executando um script Python responsável por processar essas informações e publicá-las em tempo real em um broker MQTT.

Softwares Utilizados

- **Wokwi:** Simulador de circuitos eletrônicos (protoboard, Arduino Uno, HC-SR04, LEDs, resistores, botão).
Bibliotecas: embutidas na simulação (sem necessidade de bibliotecas externas).
- **Arduino IDE:** Ambiente para codificação e upload do código em C/C++ no Arduino Uno.
Bibliotecas: Serial, funções nativas como `digitalRead()`, `digitalWrite()`, `pinMode()`, `pulseIn()`, `millis()`, `delay()`.
- **PyCharm – IDE:** para desenvolvimento do script Python de leitura da porta serial e envio dos dados para a nuvem via MQTT.
Bibliotecas: `pyserial` (comunicação serial com o Arduino), `paho.mqtt.client` (publicação no broker MQTT).
- **HiveMQ Broker (broker.hivemq.com):** Broker MQTT gratuito para publicação e monitoramento dos dados em tempo real.
Bibliotecas utilizadas: integradas via `paho-mqtt` no Python.

Ferramentas utilizadas:

- Jogo de chaves;
- Alicates de cabo;
- Alicates universal;
- Fita isolante;
- Pote para simular o reservatório de água.

Estrutura de Funcionamento

O sistema realiza a leitura contínua dos sensores de fluxo e ultrassônico. O sensor de fluxo mede a quantidade de água consumida, enquanto o sensor ultrassônico monitora o nível de água no reservatório de reúso. Quando o nível de água atinge um valor mínimo, a bomba é acionada automaticamente para transferir a água. O controle da bomba é feito por meio de um relé, garantindo segurança no acionamento elétrico.

Além disso, os dados de consumo e de nível do reservatório são transmitidos via MQTT para um servidor remoto ou aplicativo, permitindo o monitoramento em tempo real.

Simulador de circuitos eletrônicos

Para simular o sistema de monitoramento e reúso de água no Wokwi de forma fiel ao protótipo físico, algumas adaptações precisaram ser feitas, considerando as limitações da plataforma e a fidelidade da lógica implementada. As mudanças foram:

1. Substituição do Sensor Hall de Fluxo de Água por um Botão Simulador de Pulsos

Como o Wokwi não possui um modelo realista do sensor de fluxo YF-S201, foi utilizado um botão digital conectado a uma porta digital do Arduino para simular manualmente os pulsos gerados pela passagem da água. Cada clique no botão representa um pulso que seria gerado pelo sensor físico ao detectar o fluxo da água.

- Pinagem: O botão foi ligado à mesma porta onde o sensor real seria conectado (pino 2 do Arduino).
- Pull-down resistor virtual: Garantiu leitura correta dos estados HIGH/LOW simulados.

2. Representação da Bomba Submersa e Relé

Como o Wokwi não oferece modelos específicos para a bomba de água e o relé, esses componentes foram simulados utilizando LEDs. O LED verde é acionado quando a bomba e o relé estão ligados, indicando que o sistema está em funcionamento. Por outro lado, o LED vermelho é aceso quando a bomba e o relé estão desligados, sinalizando que o sistema está inativo. Essa representação visual permite acompanhar o status da bomba e do relé durante a operação do protótipo.

3. Representação da Fonte de Alimentação

A alimentação no Wokwi é automaticamente provida pelo Arduino simulado. A fonte 5V utilizada no protótipo físico foi representada pela alimentação padrão do Wokwi, suficiente para fins de simulação.

4. Representação do envio do MQTT

Não possui suporte a comunicação via internet e foi simulado o envio de informações sobre o fluxo de água utilizando um botão como disparador.

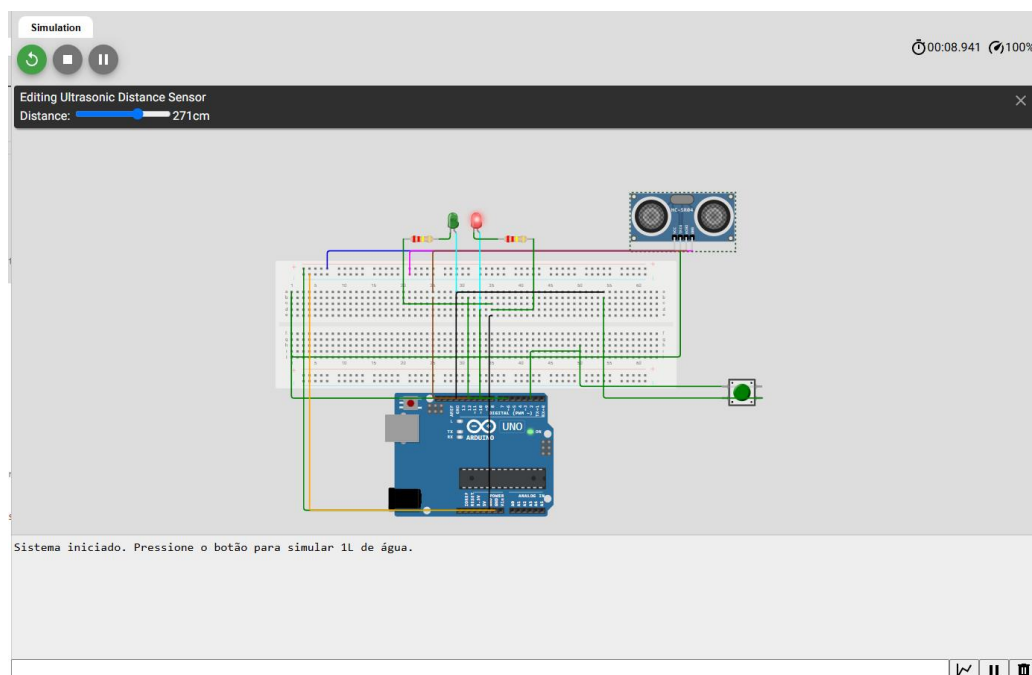


Figura 9: Imagem do sistema sendo iniciado no simulador, é necessário pressionar o botão (simula o Sensor Hall de Fluxo de Água). Led vermelho indica bomba desligada.

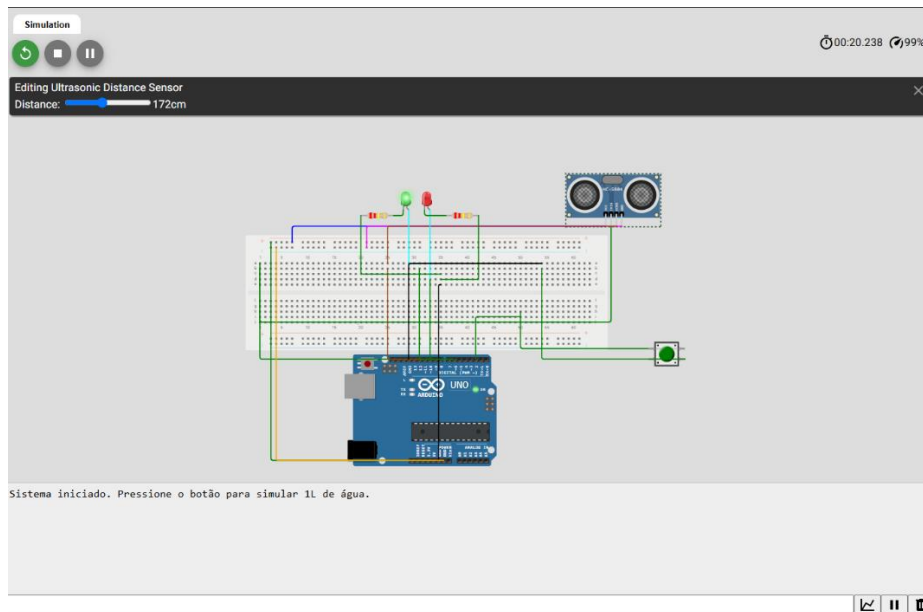


Figura 10: Se o nível de água estiver alto, a bomba é desligada, e o LED vermelho se acende. Se o nível de água estiver baixo, a bomba é ligada para transferir a água, e o LED verde se acende, indicando que a bomba está funcionando.

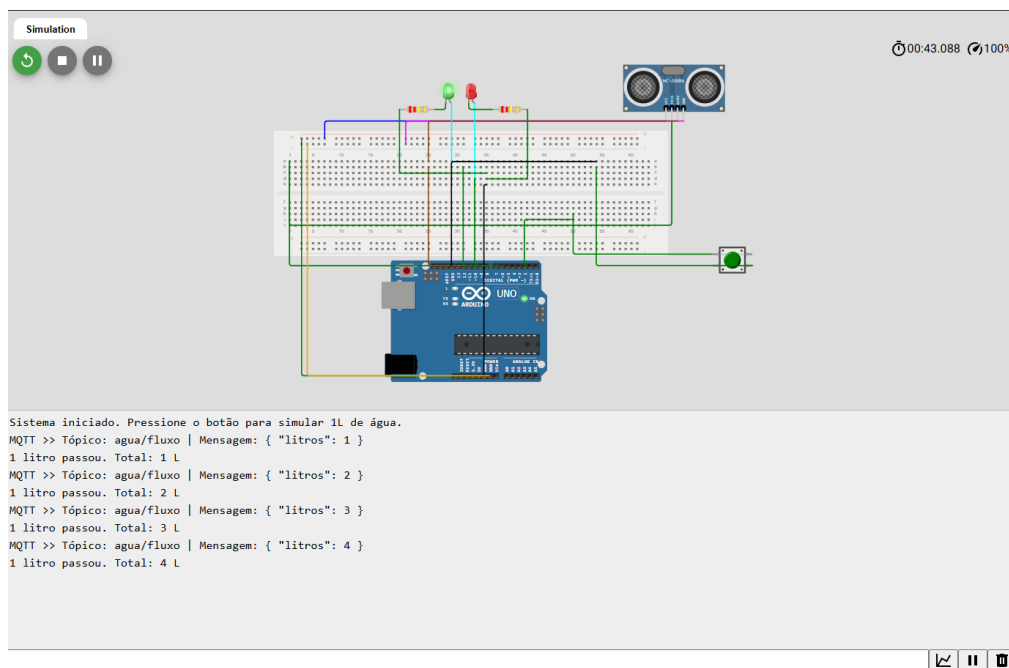


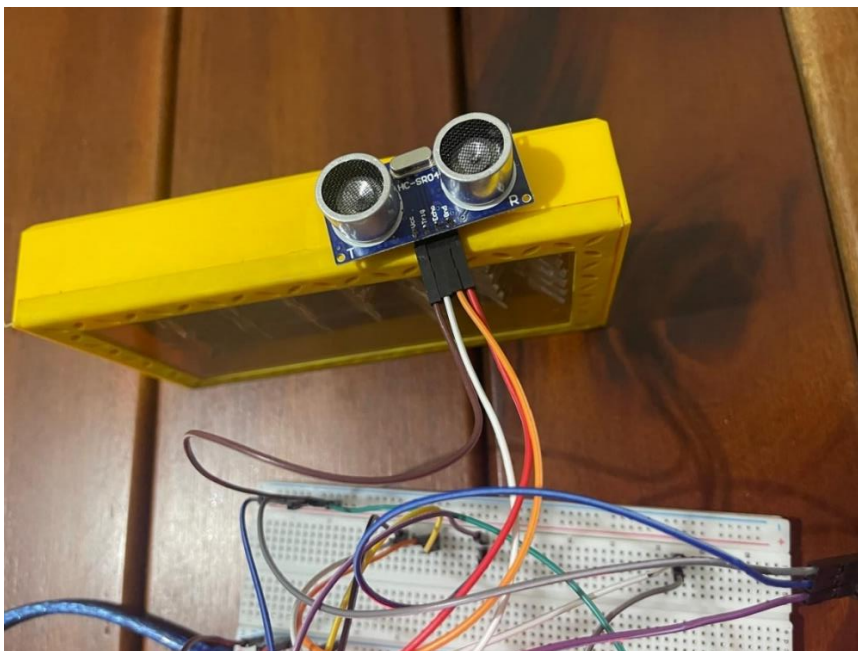
Figura 11: O sensor de fluxo de água (tipo Hall) é simulado por um botão, já que o Wokwi não oferece suporte nativo. Ao ser pressionado, o botão gera pulsos que o Arduino contabiliza para calcular o volume de água consumido. Cada pulso representa uma fração de litro, permitindo o monitoramento em tempo real. O Arduino também controla LEDs que simulam o acionamento do relé da bomba submersa e envia, via interface serial, dados como nível do reservatório e volume total consumido para o computador. Um script Python interpreta esses dados e os publica em tempo real em tópicos específicos de um broker MQTT, integrando o sistema a plataformas de monitoramento remoto.

Funcionamento e Resultados

O protótipo desenvolvido para o sistema de monitoramento e reúso de água doméstica opera de forma a otimizar o consumo de água e possibilitar seu reúso para atividades não potáveis, como a descarga de vasos sanitários. O sistema é composto por sensores que monitoram o nível de água e o fluxo de consumo, e atuadores que controlam a bomba para o reúso da água. Abaixo estão os detalhes sobre o funcionamento de cada componente:

1. Sensor Ultrassônico HC-SR04 (Monitoramento do Nível de Água)

O sensor ultrassônico HC-SR04 é utilizado para medir o nível de água no reservatório de reúso. O funcionamento deste sensor é baseado na emissão de ondas ultrassônicas a partir do pino Trig e na detecção do tempo de retorno dessas ondas, que é captado pelo pino Echo. O sensor calcula a distância até a superfície da água com base no tempo que leva para a onda refletir e retornar ao sensor. O valor de distância obtido é continuamente monitorado pelo Arduino. Quando o nível da água atinge um limite baixo, indicando que o reservatório precisa ser reabastecido, o sistema desliga a bomba. Caso o nível da água seja adequado, o sistema mantém a bomba acionada para reúso.



2. Sensor de Fluxo YF-S201 (Monitoramento do Fluxo de Água)

O sensor de fluxo YF-S201 monitora a quantidade de água consumida em tempo real. Ele gera pulsos a cada quantidade definida de água que passa por ele. Esses pulsos são capturados pelo Arduino, que os conta e calcula o fluxo de água. A cada pulso detectado, o sistema contabiliza a quantidade de água consumida, utilizando um fator de calibração para converter os pulsos em litros por minuto (L/min). Esse sensor é crucial para acompanhar o consumo de água, evitando desperdícios.



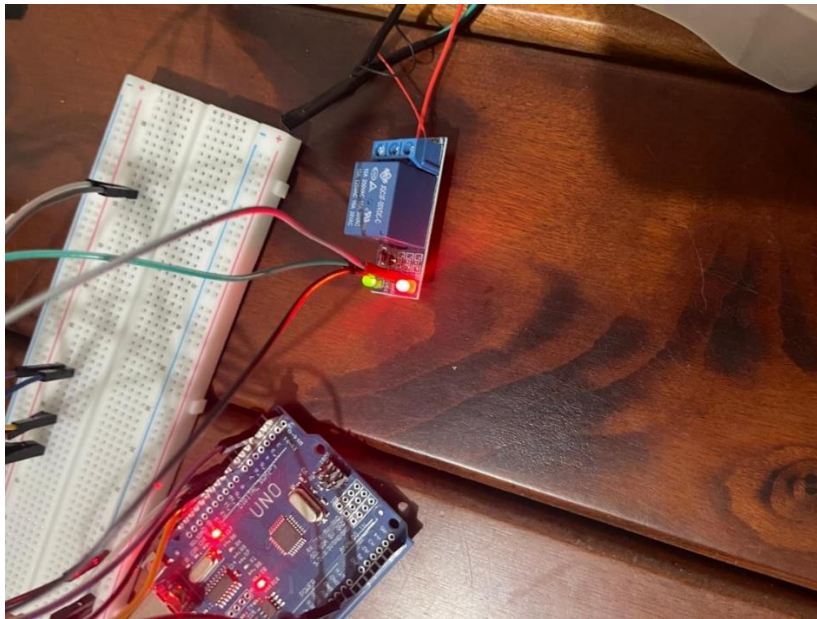
3. Módulo de Relé (Controle da Bomba de Água)

A bomba submersível JT100, que transfere a água do reservatório para os pontos de uso não potável (como a descarga de vasos sanitários), é controlada por um módulo de relé de 5V. O relé serve como um interruptor eletrônico, permitindo que o Arduino controle a alimentação da bomba. O Arduino envia um sinal de controle para o módulo de relé, que por sua vez aciona a bomba quando o nível de água e o fluxo de água estão dentro dos parâmetros esperados.

O relé é acionado para ligar a bomba quando:

- O nível de água está abaixo do limite mínimo.

Quando o nível de água atingir o limite máximo, o relé desliga a bomba, evitando o funcionamento ineficiente.



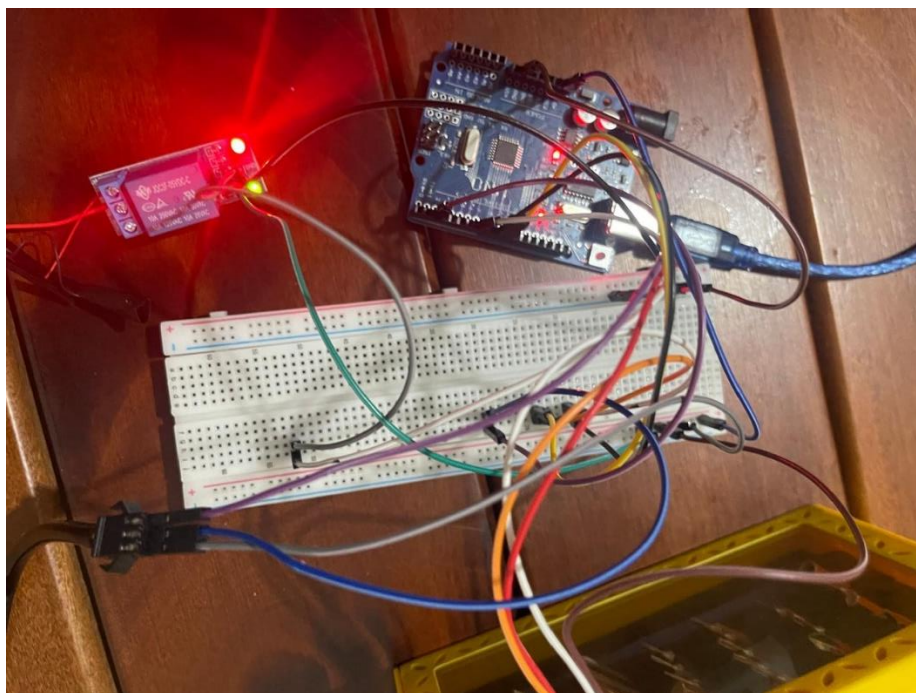
4. Fonte de Alimentação Bivolt 5V

A fonte de alimentação bivolt 5V 2A é responsável por fornecer energia a bomba sapo submersível JT100. A fonte converte a energia de 110V ou 220V (dependendo da rede elétrica) para 5V DC, que é utilizado para alimentar a bomba. A bomba, que consome mais corrente, é ligada diretamente à fonte para garantir seu funcionamento eficiente.



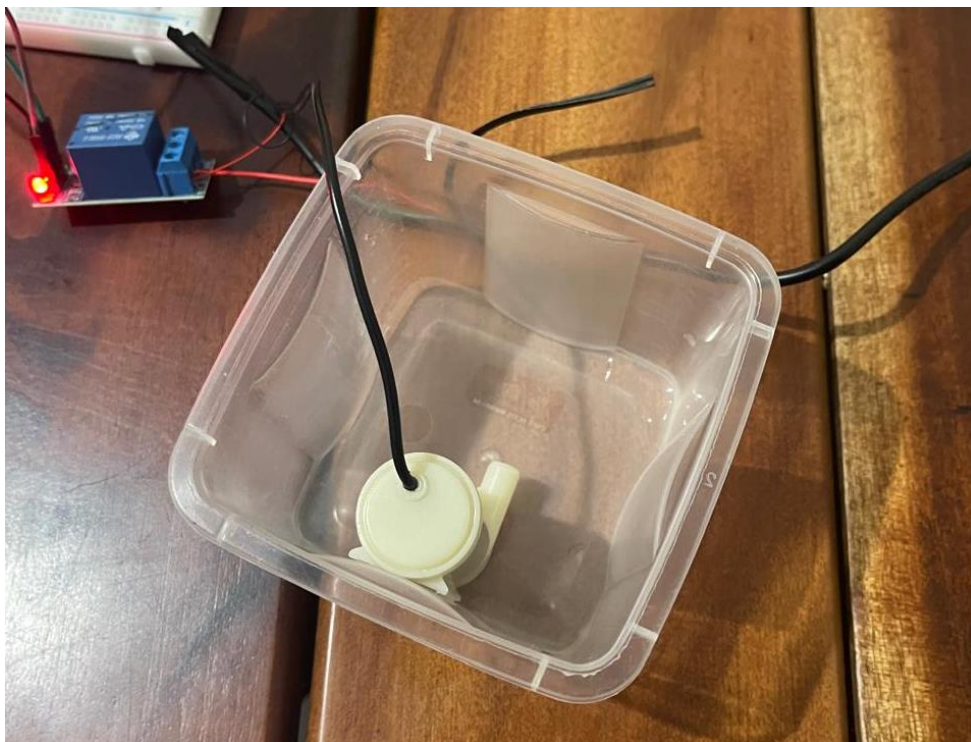
5. Jumpers Fios e Protoboard (Conexões e Montagem do Circuito)

Os jumpers fios e a protoboard são usados para realizar as conexões entre os componentes eletrônicos do sistema. A protoboard permite montar o circuito de forma temporária e sem a necessidade de soldagem, facilitando testes e modificações durante o desenvolvimento do protótipo. Os jumpers fios garantem conexões seguras e organizadas entre o Arduino, os sensores e a bomba.



6. Bomba Submersível JT100 5V DC (Atuação no Reúso de Água)

A bomba submersível JT100 é a peça chave do sistema de reúso de água. Quando o nível de água no reservatório de reúso está abaixo do mínimo, a bomba é ativada. O relé é acionado pelo Arduino para fornecer corrente à bomba, que transfere a água armazenada para um uso não potável, como a descarga de vasos sanitários. O acionamento da bomba é controlado automaticamente com base no nível do reservatório, garantindo que o reúso de água seja feito de forma eficiente.



7. Lógica de Controle

A lógica de controle do sistema é baseada em um parâmetro principal: o nível de água no reservatório.

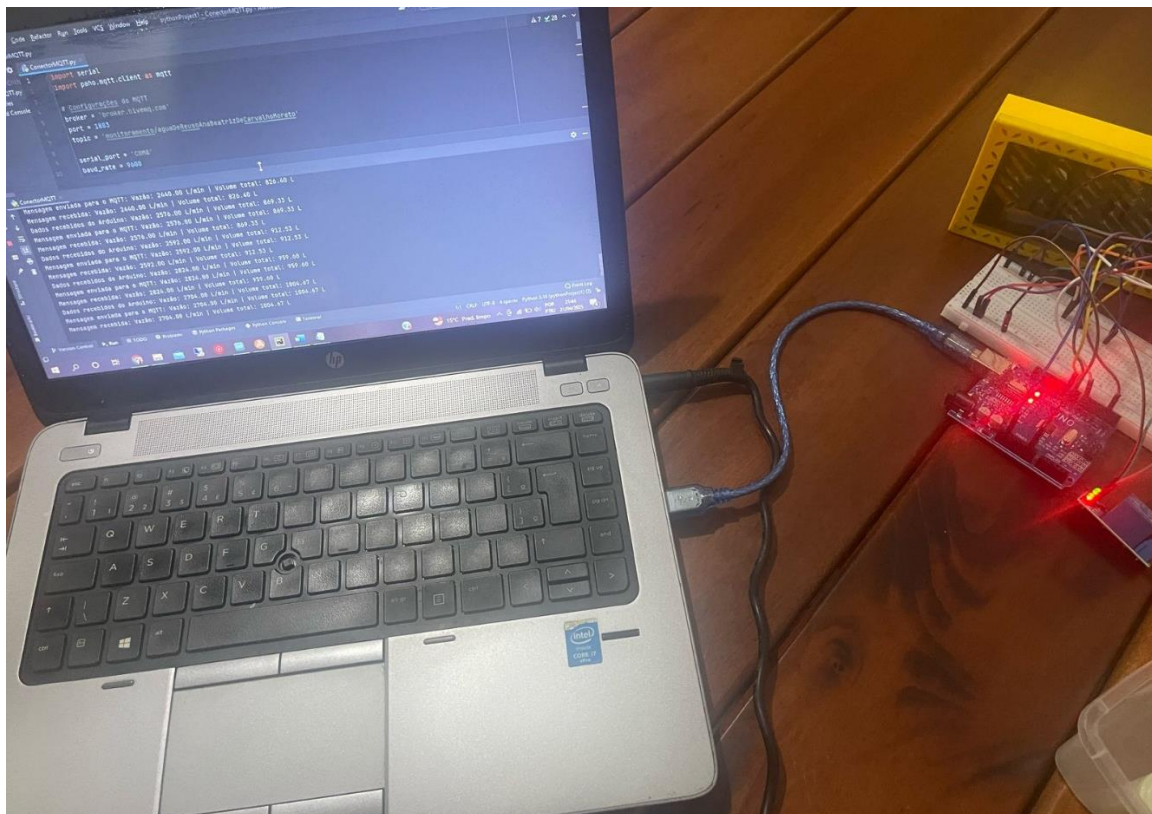
O sistema segue as seguintes etapas de funcionamento:

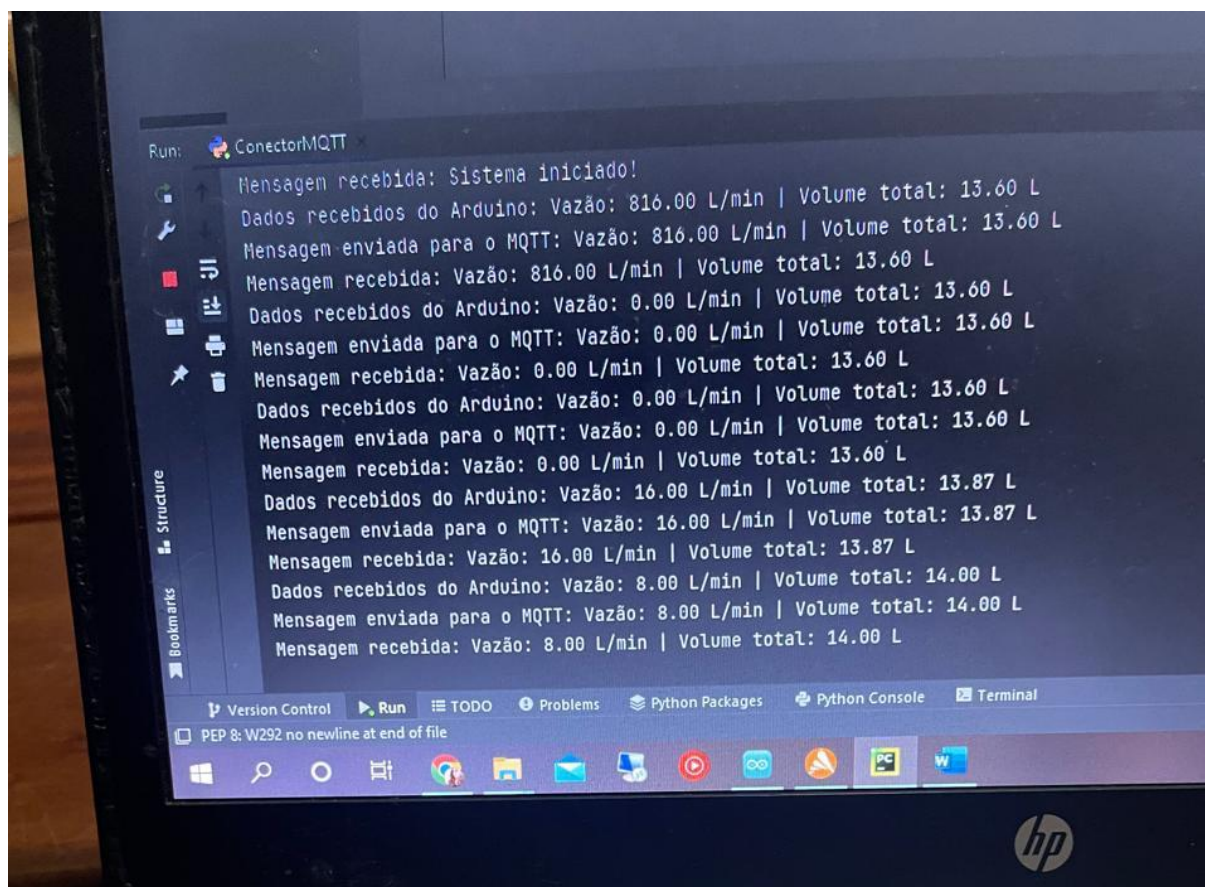
- Leitura do Nível de Água: O sensor ultrassônico mede continuamente o nível de água no reservatório. Se o nível estiver abaixo de um valor crítico (exemplo: 10 cm), a bomba será ligada automaticamente.
- Deteccção de Fluxo de Água: O sensor de fluxo YF-S201 monitora o consumo de água. Quando o sistema detecta um fluxo significativo, isso indica que o usuário está utilizando água, e informa o volume de água consumido ao script Python que por sua vez envia para o broker.
- Acionamento da Bomba: Se o nível de água estiver abaixo do mínimo, o relé aciona a bomba para transferir a água armazenada para a descarga dos vasos sanitários. Durante esse processo, o LED verde será aceso para indicar que a bomba está funcionando.

- **Desligamento da Bomba:** Quando o nível de água no reservatório atingir o limite máximo, o sistema desliga automaticamente a bomba. Isso assegura que a bomba não funcione de forma ineficiente e que a água não seja desperdiçada.

8. Publicação de Dados via MQTT

O sistema também envia informações em tempo real sobre o fluxo de consumo para um broker MQTT. Isso permite que o sistema seja monitorado remotamente, e os dados possam ser acessados por um aplicativo ou interface web. A cada ciclo de operação, o Arduino envia uma mensagem MQTT com os dados atualizados sobre a taxa de fluxo.





O protótipo desenvolvido para o sistema de monitoramento e reúso de água doméstica foi testado com sucesso tanto em ambiente simulado, utilizando o Wokwi, quanto em ambiente físico, com todos os componentes reais devidamente conectados.

Durante os testes, o sensor de fluxo (simulado por um botão no Wokwi) demonstrou precisão na contagem dos pulsos gerados, permitindo o cálculo estimado do volume de água consumido. Cada acionamento do botão representou uma fração de litro, sendo contabilizado pelo Arduino e transmitido via interface serial para o computador.

O sensor ultrassônico HC-SR04 apresentou desempenho adequado na medição do nível de água no reservatório, com leituras estáveis e confiáveis, possibilitando que o sistema determinasse corretamente quando acionar ou desligar a bomba de reúso. Quando o nível da água atingia o valor mínimo programado, o Arduino acionava a bomba (representada por um LED verde na simulação), promovendo a transferência da água para uso não potável. Caso o nível estivesse dentro da faixa adequada, a bomba permanecia desligada (LED vermelho aceso).

A integração com o protocolo MQTT foi validada com sucesso utilizando o script Python desenvolvido no PyCharm. A comunicação entre Arduino e computador ocorreu através da porta serial, e os dados processados foram enviados em tempo real para o broker público HiveMQ. Isso permitiu o monitoramento remoto das informações relativas ao consumo de água e ao estado do reservatório, por meio de ferramentas compatíveis com MQTT.

Código fonte do projeto

O código-fonte desenvolvido para este projeto encontra-se disponível publicamente no seguinte repositório do GitHub: <https://github.com/AnaBeatrizMorato/monitoramento-reuso-agua>

Nele, é possível acessar todos os arquivos necessários para replicação do protótipo, incluindo o código Arduino e python.

Link para o vídeo-demonstração no youtube: <https://youtu.be/2thGE6cVIsW>

Tempo médio entre o envio de comandos e a ação do atuador

Núm. medida	Sensor/atuador	Tempo de resposta
1	Sensor ultrassônico	Aprox. 520ms
2	Sensor ultrassônico	Aprox. 525ms
3	Sensor ultrassônico	Aprox. 528ms
4	Sensor ultrassônico	Aprox. 523ms
1	Sensor Hall Fluxo Vazão	Aprox. 411ms
2	Sensor Hall Fluxo Vazão	Aprox. 405ms
3	Sensor Hall Fluxo Vazão	Aprox. 432ms
4	Sensor Hall Fluxo Vazão	Aprox. 409ms

Conclusões

Os objetivos propostos para este projeto foram alcançados, uma vez que foi possível desenvolver e implementar um sistema funcional de monitoramento e reuso de água doméstica, utilizando sensores, atuadores, uma plataforma baseada em Arduino e comunicação via protocolo MQTT. O sistema demonstrou viabilidade técnica, comprovando sua capacidade de realizar o monitoramento do consumo e o acionamento automatizado da bomba para o reuso da água.

Durante a execução do projeto, os principais desafios envolveram a montagem dos componentes, especialmente a instalação do módulo relé, que não pôde ser testado completamente durante a fase de prototipagem e, por isso, foi avaliado apenas por meio de conexões com jumpers. Além disso, a ausência de conectividade nativa à internet no Arduino Uno representou um obstáculo para a comunicação direta com o broker MQTT, sendo necessário contornar essa limitação com o uso de um computador intermediário e um script em Python, solução que se mostrou eficiente.

As principais vantagens do projeto incluem o uso de componentes de baixo custo e de fácil aquisição, a simplicidade na montagem e manutenção do sistema, e a possibilidade de integração com outras soluções de automação residencial. Entretanto, algumas desvantagens foram observadas, como a limitação na precisão de sensores mais econômicos e a dependência de uma infraestrutura de rede estável para garantir o funcionamento da comunicação via MQTT.

Para aprimorar o projeto, recomenda-se a utilização de uma placa com conectividade integrada, como o Arduino com módulo Ethernet ou ESP8266/ESP32, eliminando assim a necessidade de manter um computador conectado ao sistema. Além disso, a adoção de uma bomba submersa de maior potência seria ideal para aplicações reais, como o bombeamento eficiente da água de um reservatório doméstico de maior volume.

Referências

- ABNT NBR 6023:2018 - *Informação e documentação - Referências - Elaboração*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.
- GARCIA, A. M. et al. *Sistema de monitoramento de consumo de água para ambientes urbanos utilizando a Internet das Coisas*. *Revista Brasileira de Tecnologias Sustentáveis*, v. 12, n. 3, p. 45-56, 2021.
- ONU. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: ODS 6 – Água potável e saneamento*. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>. Acesso em: 02 mar. 2025.
- SANTOS, J. C.; LIMA, D. F. *Soluções inteligentes para a gestão de água: a IoT no monitoramento do consumo doméstico*. *Revista Brasileira de Engenharia e Tecnologia Sustentável*, v. 15, n. 4, p. 32-41, 2022.
- AMARAL, HAROLDO. *Ferramentas para design de circuitos eletrônico*. 2016. Disponível em: <https://embarcados.com.br/ferramentas-para-design-de-circuitos-eletronicos/>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- ELETROGATE. *Arduino IDE 2.0: Conheça o Novo IDE Arduino*. 2022. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/arduino-ide-2-0-conheca-o-novo-ide-arduino/>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- CIRANI, SIMONE; FERRARI, GIANLUIGI; PICONE, MARCO; VELTRI, LUCA. *Internet of Things: architectures, protocols and standards*. Hoboken, NJ: Wiley, 2019. Disponível em: [https://aitskadapa.ac.in/e-books/CSE/IOT/Internet%20of%20Things_%20Architectures,%20Protocols%20and%20Standards%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](https://aitskadapa.ac.in/e-books/CSE/IOT/Internet%20of%20Things_%20Architectures,%20Protocols%20and%20Standards%20(%20PDFDrive%20).pdf). Acesso em: 17 abr. 2025.
- SOUZA, FABIO. *Introdução ao Arduino – Primeiros passos na plataforma*. 2013. Disponível em: <https://embarcados.com.br/arduino-primeiros-passos/>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- KNOLLEARY, NICK. *PubSubClient – Biblioteca MQTT para Arduino*. Disponível em: <https://pubsubclient.knolleary.net/>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- WOKWI. *Simulador de Arduino Online*. Disponível em: <https://docs.wokwi.com/>. Acesso em: 18 abr. 2025.