

Sistema de Monitoramento Inteligente do Consumo de Água em Hospitais: Uma Abordagem IoT

Eduardo Alexandre Rodrigues, Professor Leandro Carlos Fernandes

Faculdade de Computação e Informática
Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) – São Paulo, SP – Brazil

Abstract. *The project proposes a simple and functional system for monitoring and controlling water consumption, using affordable and low-cost technology. The system integrates a water flow sensor, a **NodeMCU** (ESP32) microcontroller, and a solenoid valve to interrupt the water supply in cases of leaks or excessive consumption. Communication between the device and the user is carried out via the **MQTT** protocol, enabling real-time data visualization on a monitoring platform.*

Resumo. *Este projeto propõe um sistema inteligente de monitoramento e controle do consumo de água em hospitais, com ênfase na gestão eficiente dos recursos hídricos. Utilizando tecnologia acessível e de baixo custo, o sistema integra um sensor de fluxo de água, um microcontrolador NodeMCU (ESP32) e uma válvula solenoide capaz de interromper automaticamente o fornecimento de água em situações de vazamento ou consumo anormal. A comunicação ocorre por meio do protocolo MQTT, possibilitando o acompanhamento em tempo real dos dados de consumo em uma plataforma de monitoramento, contribuindo para a sustentabilidade, segurança e redução de desperdícios no ambiente hospitalar.*

1. Introdução

A crescente escassez de recursos hídricos e os desafios envolvidos na gestão eficiente da água exigem soluções cada vez mais inteligentes e sustentáveis, especialmente em ambientes críticos como hospitais. Alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 6 da ONU — "Água Potável e Saneamento" —, torna-se fundamental garantir o uso racional e a gestão eficaz desse recurso essencial. Nesse cenário, a adoção de tecnologias de monitoramento em tempo real se apresenta como uma estratégia indispensável para evitar desperdícios e otimizar o consumo hídrico em instituições de saúde.

Este estudo propõe o desenvolvimento de um sistema inteligente de monitoramento do consumo de água aplicado ao ambiente hospitalar. Utilizando plataformas de baixo custo e ampla disponibilidade, como o microcontrolador NodeMCU (ESP32), o sistema integra sensores de fluxo e válvulas solenoides que atuam automaticamente diante de indícios de vazamentos ou picos de consumo. A comunicação ocorre via protocolo MQTT, permitindo a integração com plataformas online para

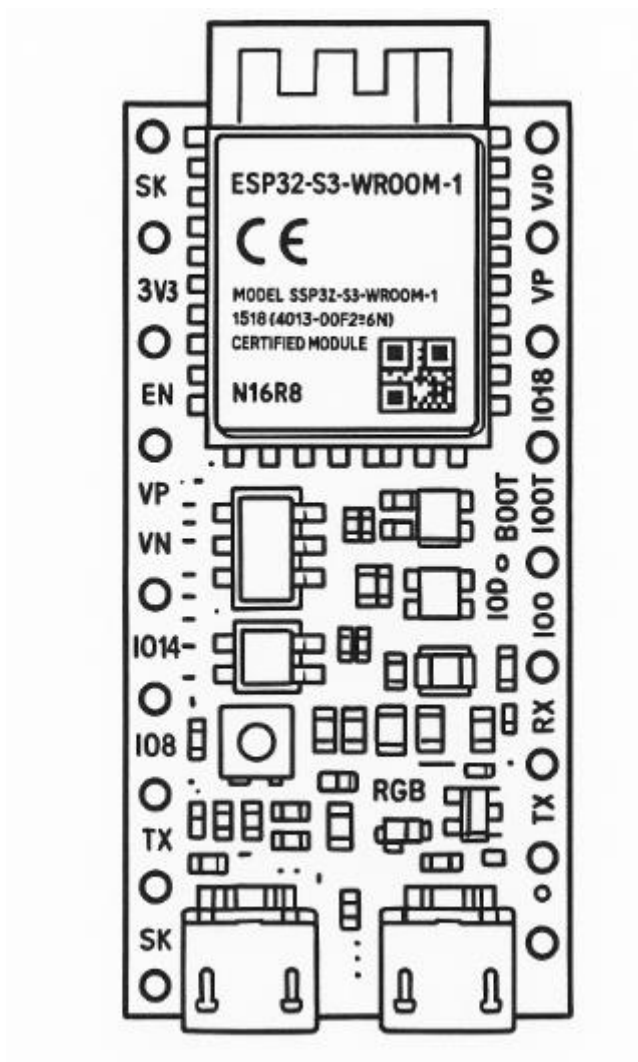
visualização dos dados em tempo real, o que facilita a tomada de decisões gerenciais.

Um exemplo de aplicação semelhante pode ser observado no estudo "O monitoramento como ferramenta da redução do consumo de água potável na Faculdade de Ciências da Administração de Pernambuco – FCAP/UPE", que evidenciou como sistemas de monitoramento contribuem diretamente para a redução do consumo e identificação de anomalias no uso da água. A pesquisa demonstrou uma queda significativa no volume consumido por usuário ao longo dos anos e reforçou a importância da atuação de gestores responsáveis por políticas de uso racional da água. Esses resultados indicam que a implementação de sistemas semelhantes em hospitais pode trazer benefícios substanciais, tanto operacionais quanto ambientais.

Assim, o presente trabalho busca detalhar o funcionamento do protótipo desenvolvido, os principais componentes utilizados e as etapas de sua implementação em um contexto hospitalar. Por fim, será realizada uma análise do impacto potencial do sistema na sustentabilidade institucional, destacando sua contribuição para a preservação dos recursos hídricos e para o cumprimento das metas estabelecidas pelo ODS 6.

2. Materiais

O sistema foi desenvolvido utilizando componentes principais interconectados ao dispositivo central de controle (ESP32), selecionados por seu custo acessível, eficácia operacional e potencial de aplicação sustentável.



- Imagem do ESP32

2.1 Componentes do Sistema

NodeMCU (ESP32): Placa de desenvolvimento com microcontrolador **ESP32** responsável pelo processamento de dados e comunicação WiFi. Esta plataforma foi escolhida por sua relação custo-benefício, capacidade de processamento e conectividade integrada. O dispositivo permite o desenvolvimento de uma interface web acessível via navegador, utilizando HTML para estruturação, CSS para design visual e JavaScript para funcionalidades interativas.

Sensor de Fluxo de Água: Dispositivo acoplado à tubulação principal que converte o fluxo de água em pulsos elétricos, permitindo medição precisa do consumo em tempo real. Sua seleção baseou-se no baixo custo, precisão adequada e facilidade de instalação, tornando-o acessível para implementação em diversos contextos residenciais.

Válvula Solenoide: Atuador principal do sistema, instalado na entrada de água da residência, capaz de interromper completamente o fornecimento quando acionada pelo sistema de controle. O componente foi selecionado por sua eficácia operacional, tempo rápido de resposta e custo compatível com a proposta do projeto.

Módulo Relé: Interface de potência entre o NodeMCU e a válvula solenoide, que garante isolamento elétrico e permite o controle de dispositivos de alta potência com sinais de baixa tensão. Este componente é essencial para o acionamento seguro da válvula, apresentando baixo consumo energético e custo reduzido.

Protocolo MQTT: Protocolo de comunicação machine-to-machine baseado no modelo publish/subscribe, utilizado para transmissão dos dados de consumo para uma plataforma de monitoramento em tempo real. A escolha deste protocolo deve-se à sua eficiência em redes com largura de banda limitada, baixa sobrecarga computacional e facilidade de implementação em sistemas embarcados.

3. Metodologia

O sistema será projetado para ser instalado no ponto de entrada principal de água do hospital ou do local a ser instalado, permitindo o monitoramento e controle de todo o consumo hídrico a ser instalado. A abordagem aplicada oferece as seguintes vantagens inicialmente planejadas:

- Monitoramento global do consumo.
- Capacidade de interromper todo o fornecimento em caso de vazamento.
- Simplicidade de instalação e manutenção.
- Visão consolidada dos padrões de consumo.

Acompanhamento do fluxo e vazão da água, garantindo o controle do uso.

3.2 Implementação

A implementação do sistema segue as seguintes etapas determinadas até o entendimento das necessidades para a elaboração:

3.3 Instalação Física

Para o procedimento da instalação física, será necessário a utilização da válvula solenoide, o sensor de fluxo e a montagem do controlador **NodeMCU** conectado com o relé na seguinte disposição:

- Acoplamento do sensor de fluxo na tubulação principal de entrada de água
- Instalação da válvula solenoide em série com o registro principal
- Montagem do circuito eletrônico de controle (**NodeMCU + módulo relé**)

3.4 Instalação Inteligente

Para o funcionamento do sistema, será necessário configurar o dispositivo a partir da linguagem necessário e também a organização e sistematização do sensor com a lógica:

- Desenvolvimento do algoritmo de controle embarcado no **NodeMCU**.
- Calibração do sensor de fluxo para conversão de pulsos em vazão (**L/min**)

- Implementação da lógica de detecção de vazamentos (fluxo contínuo fora dos horários de uso padrão).

Quando o sistema detecta um vazamento ou consumo anômalo de água, o NodeMCU envia um sinal digital para o módulo relé, que aciona a válvula solenoide. O relé atua como um interruptor, permitindo o corte seguro da corrente elétrica necessária para fechar a válvula e interromper imediatamente o fornecimento de água, evitando desperdícios.

O desenvolvimento do algoritmo de controle será realizado utilizando a plataforma Arduino IDE, amplamente utilizada para programação de dispositivos baseados em ESP32, permitindo a integração das bibliotecas necessárias para o protocolo MQTT e o sensor de fluxo de água.

4 Modelo de Montagem

Para a validação prática do sistema de monitoramento de consumo de água com limite diário, foi desenvolvido um protótipo utilizando a plataforma de simulação Wokwi, com o microcontrolador ESP32 DevKit V1, integrando uma válvula solenoide (simulada por um relé e um LED), um botão (para liberação manual de bônus de consumo) e um display LCD 16x2 I2C.

O modelo foi configurado para refletir o cenário proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU), que recomenda 110 litros de água por pessoa ao dia para suprir as necessidades básicas. O sistema simula um fluxo contínuo de água, onde a cada segundo o consumo incrementa automaticamente em 1 litro, sem necessidade de interação física inicial. Esse comportamento foi implementado para possibilitar uma demonstração prática e ágil, já que não seria viável a utilização de um sensor real de fluxo no ambiente simulado.

O consumo de água é calculado em tempo real e exibido no display LCD. O monitoramento contínuo permite a visualização direta da quantidade acumulada de litros consumidos. Ao atingir o limite diário de 110 litros, o sistema aciona o fechamento da válvula (representado pela ativação de um relé e o acendimento de um LED vermelho), e

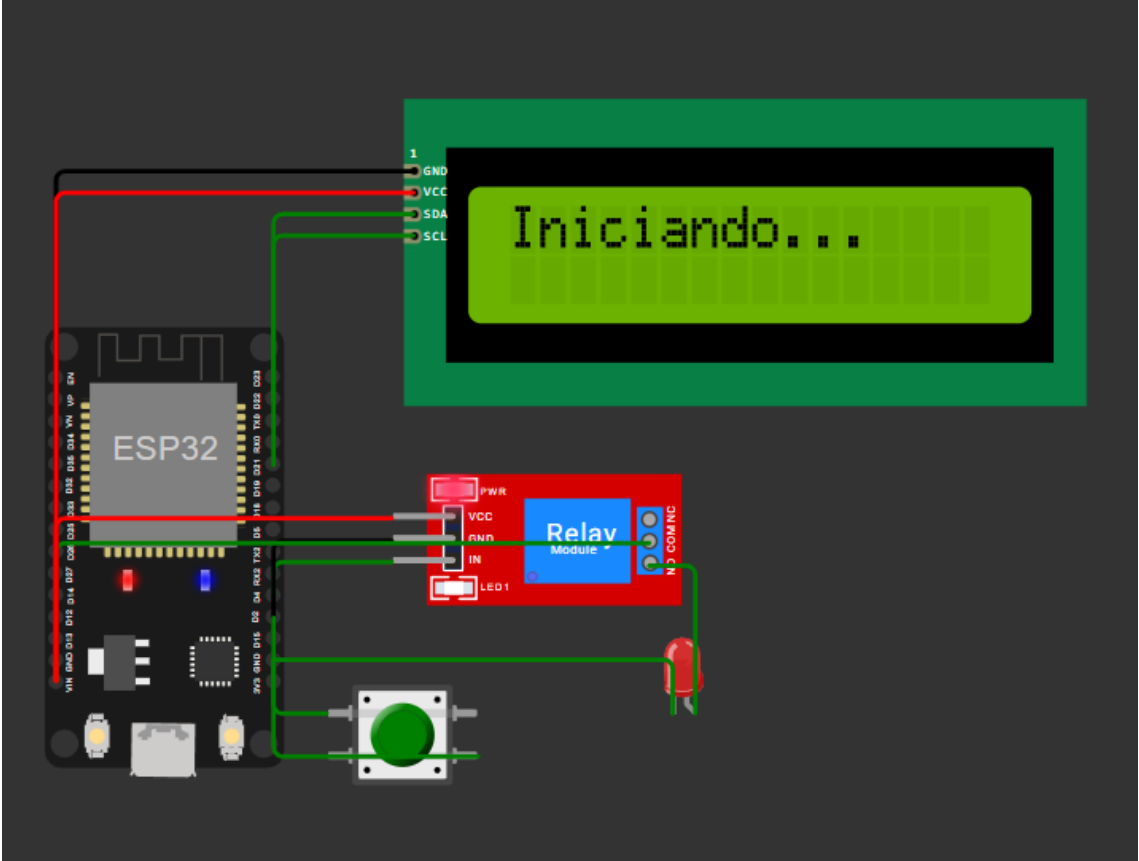
atualiza o display LCD com a mensagem de "Limite atingido", além de publicar uma notificação via protocolo MQTT, indicando que a válvula foi fechada.

Para simular cenários de exceção, foi implementada a funcionalidade de liberação de bônus de consumo. Ao pressionar o botão conectado ao ESP32, o sistema libera uma quantidade adicional de 20 litros de água, reabrindo a válvula para permitir o consumo de forma controlada. Cada liberação adicional de bônus é contabilizada e exibida no monitor serial, bem como no display LCD, facilitando a análise do uso extra solicitado.

As principais adaptações necessárias para a demonstração do projeto foram:

- Simulação do fluxo de água por incremento automático no consumo a cada segundo, em vez da leitura de um sensor de fluxo real.
- Representação da válvula solenoide por meio de um módulo relé e LED, devido às limitações do ambiente de simulação Wokwi.
- Utilização de um botão físico para liberar bônus de consumo, simulando uma solicitação manual de aumento de limite diário.
- Comunicação MQTT simulada, com envio de mensagens ao broker público HiveMQ, para demonstrar a capacidade de integração remota do sistema.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde e o Alto Comissariado das Nações Unidas para os Direitos Humanos (2010), entre 50 e 100 litros de água por pessoa, por dia, são necessários para atender às necessidades básicas e minimizar preocupações com a saúde. Sendo assim, esse intervalo foi utilizado como base para definir a quantidade de água permitida na liberação do protótipo.



Referências Bibliográficas

ESP8266 [Hardware]. NodeMCU Development Kit, 2020. Disponível em: https://www.nodemcu.com/index_en.html. Acesso em: 28 mar. 2025.

G1/2" Water Flow Sensor [Datasheet]. Shenzhen Keyes Electronics, 2019. Disponível em: <https://www.keyestudio.com/products/keyestudio-g12-water-flow-sensor>. Acesso em: 28 mar. 2025.

MQTT Version 3.1.1 [Protocol]. OASIS Standard, 2014. Disponível em: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html>. Acesso em: 28 mar. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS); ALTO COMISSARIADO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA OS DIREITOS HUMANOS (OHCHR). The Right to Water. Fact Sheet No. 35. Genebra: Nações Unidas, 2010. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/690361/files/FactSheet35en.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025.

SOARES, Anna Elis Paz; PRADO, A. R. M.; SILVA, S. R. O monitoramento como ferramenta da redução do consumo de água potável na Faculdade de Ciências da Administração de Pernambuco – FCAP/UPE. Revista Técnico-Lógica, Santa Cruz do Sul, v. 23, n. 1, p. 42-48, 2019.

WOKWI. Simulador de projetos embarcados online. Disponível em: <https://wokwi.com>. Acesso em: 29 abr. 2025

