

Medidor de Densidade com Integração à Plataforma Web

Igor Pereira Fernandes
Área temática: **Educação**

RESUMO

No presente trabalho, descrevemos o desenvolvimento de um densímetro digital utilizando sensores e conectividade IoT, baseado no princípio de Arquimedes. O objetivo principal foi criar um dispositivo capaz de medir a densidade de líquidos newtonianos, garantindo precisão e permitindo o monitoramento remoto dos dados. Para isso, integrei diversos componentes: um sensor ultrassônico HC-SR04 para medir a distância do objeto até o líquido, uma célula de carga strain gauge de 50kg conectada a uma placa HX711 para medir a massa do objeto, e a placa BitDogLab com microcontrolador RP2040 para processar e enviar os dados. A interface do usuário foi implementada com um display SSD1306 OLED 128x64, enquanto LEDs RGB indicavam o status do sistema. Os dados coletados foram enviados para a plataforma ThingSpeak via Wi-Fi, permitindo o acesso remoto aos dados. O dispositivo foi validado com base no princípio de Arquimedes, utilizando os sensores dispostos de forma a medir a altura da coluna de fluido deslocado pelo objeto.

Palavras-chave: Densímetro, IoT, HC-SR04, *Strain Gauge*, HX711, *BitDogLab*, *ThingSpeak*, sensores, conectividade.

INTRODUÇÃO

O projeto de um densímetro digital tem como objetivo desenvolver um dispositivo capaz de medir com precisão a densidade de líquidos, utilizando componentes eletrônicos de baixo custo e fácil integração. A densidade de um líquido é uma propriedade fundamental em diversas áreas da ciência e de processos industriais, e a implementação de densímetros eletrônicos pode otimizar tanto esses processos quanto atividades artesanais. Por exemplo, na produção de bebidas fermentadas, o uso desses densímetros permite um maior controle sobre a fermentação e a composição do líquido analisado (Pintarelli; Marcondes, 2024). Além disso, densímetros são de fundamental importância na indústria petroquímica para determinar a qualidade do petróleo bruto e de seus derivados, garantindo que os produtos atendam aos padrões de mercado (Silva; Moreira, 2023).

O dispositivo foi projetado para medir a densidade de líquidos com base no volume deslocado por um objeto submerso e no empuxo que ele sofre. O sistema é controlado pela placa BitDogLab, equipada com o microcontrolador RP2040, que proporciona recursos como Wi-Fi integrado e várias interfaces de comunicação, facilitando a integração dos sensores e o envio de dados para a nuvem. O microcontrolador RP2040 é amplamente utilizado em projetos de sistemas embarcados devido à sua versatilidade e capacidade de processamento (Lee; Kim, 2021).

Para medir o volume deslocado pelo objeto, o sensor ultrassônico é utilizado para calcular a variação na altura do líquido antes e depois da imersão do objeto. O cálculo da densidade é realizado por meio da fórmula que relaciona o empuxo e o volume deslocado. Embora o sensor de empuxo não tenha sido integrado devido ao atraso na entrega dos componentes, a simulação de seu funcionamento foi realizada, permitindo avaliar o desempenho do sistema.

METODOLOGIA

Para desenvolver o densímetro digital, foi selecionado cuidadosamente uma série de componentes e tecnologias, considerando as grandezas a serem medidas, a precisão e sensibilidade dos sensores, a facilidade de integração, o custo e a disponibilidade dos componentes, e os recursos adicionais necessários para garantir a precisão dos dados e o funcionamento eficiente do sistema. A base do projeto é a placa BitDogLab, que possui o microcontrolador RP2040. O hardware é versátil, porque ele pode ser utilizado em diversos contextos devido seus periféricos. O dispositivo é equipado com 264KB de SRAM, 2MB de memória Flash, Wi-Fi integrado e diversas interfaces como I2C, SPI, UART, ADC e GPIO. A alimentação da placa é feita via USB ou bateria de 3.7v e 2000mAh, o que torna a BitDogLab ideal para integrar todos os sensores e módulos de comunicação necessários para o projeto.

Para medir a distância entre o objeto submerso e a superfície do líquido, utilizei o sensor ultrassônico HC-SR04, conectado aos pinos TRIGGER (17) e ECHO (19) da BitDogLab, pois esses pinos permitem uma configuração eficiente dos sinais de entrada e saída necessários para o funcionamento do sensor. A medição da massa do objeto submerso foi planejada com uma célula de carga strain gauge de 50 kg, integrada à placa amplificadora HX711, que converte sinais analógicos em digitais e os transmite para os pinos ADC da BitDogLab, escolhidos

pela sua capacidade de ler sinais analógicos com precisão. A Figura 1 mostra o setup do projeto com os atuadores disponíveis.

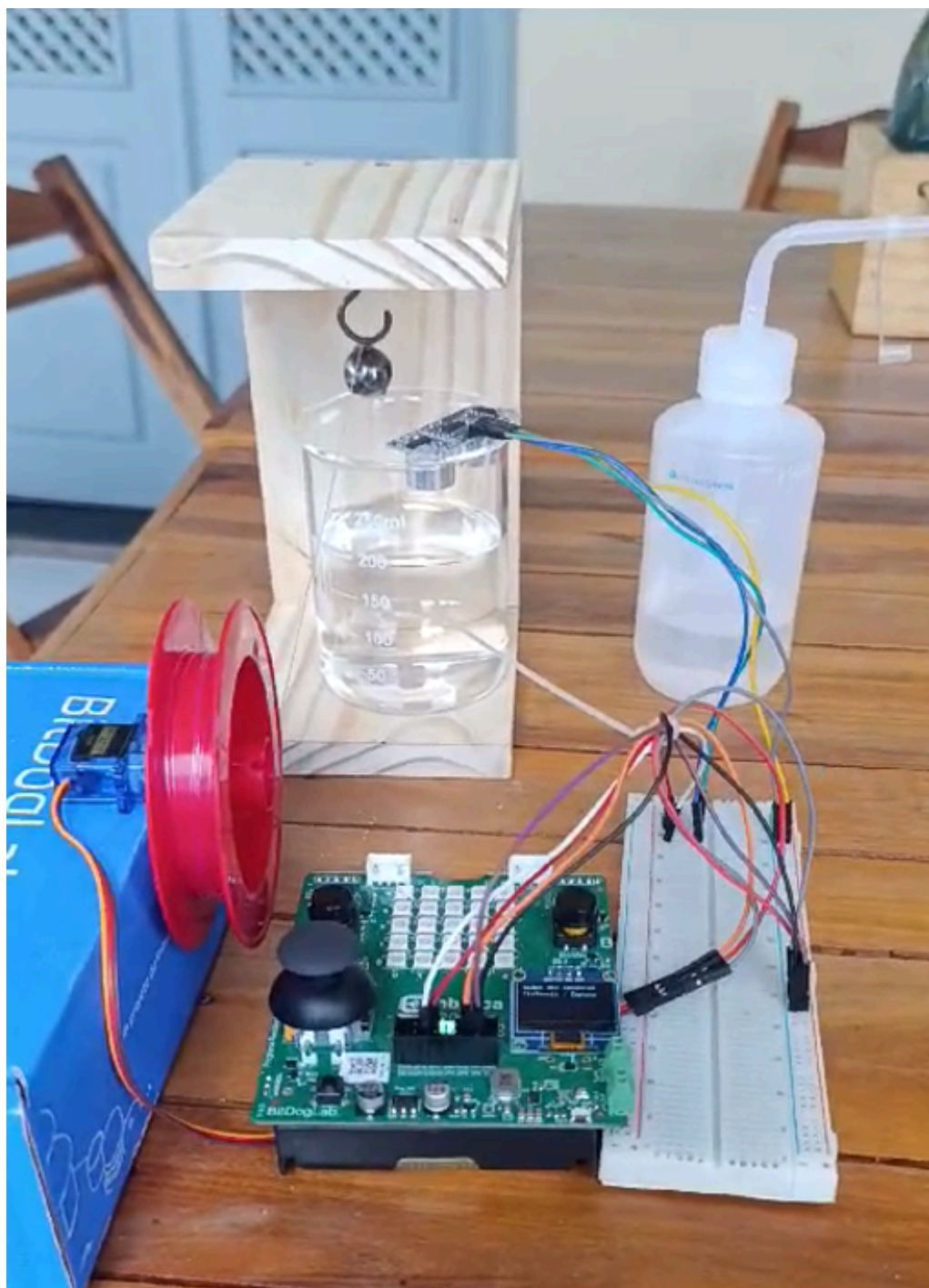


Fig. 1 – Projeto com os atuadores disponíveis

O display OLED SSD1306 (128x64) foi configurado para exibir, em tempo real, a distância e o peso, utilizando a interface I2C com os pinos SCL (14) e SDA (15), que são os pinos padrão para comunicação I2C no microcontrolador RP2040. LEDs RGB foram empregados para indicar o status do sistema: LED vermelho no pino 13, LED verde no pino 11 e LED azul no pino 12, selecionados por serem pinos digitais adequados para controlar LEDs RGB.

Além disso, foram incorporados botões para permitir a interação do usuário, incluindo o envio manual dos dados, com o BUTTON_A no pino 5 e o BUTTON_B no pino 6, ambos pinos digitais adequados para leitura de estado. As informações de distância e massa são exibidas no display OLED.

Para transmitir os dados dos sensores à plataforma ThingSpeak, utilizei o protocolo HTTP por meio de requisições GET. Inicialmente, configurei a conexão Wi-Fi utilizando a biblioteca cyw43_arch, conectando-me à rede com as credenciais fornecidas. Em seguida, implementei uma função de callback para resolver o endereço IP do servidor ThingSpeak via DNS. Após a resolução do endereço, estabeleci uma conexão TCP com o servidor.

Para cada conjunto de dados enviado, construí uma string contendo a requisição HTTP com os parâmetros necessários, incluindo a chave API Key e os valores dos sensores. A transmissão foi realizada por meio da função tcp_write. Além disso, configurei uma função de callback para processar a resposta do servidor e exibi-la no console para fins de depuração.

Essa abordagem garantiu uma comunicação eficiente e contínua dos dados dos sensores com o ThingSpeak, permitindo monitoramento e análise remotos. Futuramente, planejo implementar o protocolo MQTT para comunicação assíncrona, aprimorando a eficiência da transmissão de dados.

Para obter os dados que serão utilizados para a aquisição da densidade no densímetro, é necessário calcular o volume do líquido deslocado. A medição da distância antes e depois da esfera de metal entrar em contato com o líquido é fundamental. A diferença entre essas duas medições fornece o volume deslocado.

Como estamos utilizando um béquer, que tem padrões fixos de largura, altura e comprimento, podemos considerar a área da base como a área de um cilindro. O volume deslocado é calculado pela fórmula:

$$Vd = A_{base} \times \Delta h$$

Onde:

- A_{base} é a área da base do béquer.
- Δh é a variação da altura da água antes e depois de inserir a esfera.

Para calcular a densidade do líquido, usamos a célula de carga para medir o Peso (P_e) da esfera, quando a esfera for submersa, ela desloca o líquido e sofre a força de empuxo. A célula de carga vai medir o peso aparente da esfera no líquido, que é o peso da esfera menos o empuxo:

$$P_{ap} = P_e - E$$

Onde:

- P_{ap} é o peso aparente da esfera submersa
- E é o empuxo.

A densidade (ρ) pode ser calculada a partir do empuxo e do volume deslocado usando a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{E}{V_{deslocado} \times g}$$

Dado que:

- E é o empuxo medido pela célula de carga.
- $V_{deslocado}$ é o volume deslocado calculado anteriormente.
- g é a aceleração da gravidade (aproximadamente 9.81 m/s^2).

Devido ao atraso na entrega da célula de carga e da placa HX711, a apresentação do projeto incluirá uma simulação de seu funcionamento, demonstrando como esses componentes integrariam o sistema e contribuiriam para a medição precisa da densidade do líquido. Além disso, os cálculos necessários para a obtenção da densidade serão realizados diretamente no Power BI, utilizando os dados coletados pelos sensores depositados no thingspeak. Todas essas análises foram baseadas nas informações detalhadas nos PDFs disponíveis no [GitHub](#).

RESULTADOS ALCANÇADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento do densímetro digital, foi realizada uma busca por projetos semelhantes que utilizassem a combinação de célula de carga e sensor ultrassônico para calcular a densidade de líquidos. No tempo hábil disponível, não foram encontrados projetos que aplicassem essa metodologia específica. Isso ressalta a originalidade e inovação do nosso projeto, que integra esses sensores para obter medições precisas e confiáveis dos parâmetros necessários ao cálculo da densidade.

Os testes realizados para o densímetro confirmaram a precisão do sensor ultrassônico HC-SR04, com medições de distância consistentes quando comparadas a padrões conhecidos. A variação de altura (Δh) da água, usada para calcular o volume deslocado pela esfera, foi determinada a partir dessas medições de distância. Apesar da falta do sensor de peso, os testes mostraram que o sistema tem potencial para medições precisas e confiáveis, uma vez que todos os componentes funcionem corretamente. O sistema foi capaz de calcular a densidade do líquido com base no volume deslocado e no empuxo simulado, demonstrando a viabilidade do projeto.

A integração dos componentes, como a placa BitDogLab, o display OLED e os LEDs RGB, funcionou adequadamente, e os dados foram enviados para o ThingSpeak via Wi-Fi. O envio das informações foi eficiente, e o display apresentou os valores de distância e peso em tempo real. A simulação do empuxo permitiu testar o processo de cálculo da densidade, mas a medição real do empuxo será necessária para validar a precisão do sistema.

5 CONCLUSÃO

O projeto do densímetro digital demonstrou ser promissor, com sucesso na integração dos sensores e componentes eletrônicos, como o sensor ultrassônico e o display OLED. A simulação do cálculo de empuxo indicou que o sistema pode calcular a densidade do líquido de forma eficiente, desde que o sensor strain gauge seja integrado.

O próximo passo é a instalação da célula de carga e da placa HX711, o que permitirá a medição real do empuxo e a validação final do sistema. Com a

conclusão dessas etapas, o densímetro digital estará pronto para aplicações práticas e poderá ser utilizado para medições de densidade em diversos contextos.

REFERÊNCIAS

[Datasheets e informações técnicas dos componentes utilizados](#)

LEE, H.; KIM, J. RP2040 microcontroller: a versatile tool for embedded systems. *Journal of Embedded Systems*, v. 10, n. 1, p. 33-44, 2021.

PINTARELLI, G. B.; MARCONDES, H. Desenvolvimento de um densímetro eletrônico para produção de cerveja. *Revista Ilha Digital*, v. 9, p. 75-93, 2024.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Física: Mecânica*. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2015.

SILVA, R. S.; MOREIRA, R. Uma medida de pobreza energética para o Brasil. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2023.