



**UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO**



Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Tecnologia e Geociências  
Departamento de Eletrônica e Sistemas



## **Graduação em Engenharia Eletrônica**

**Eduardo Alexandre Pereira da Silva Júnior**

### **Porta-Copos Inteligente: Projeto e Implementação de um Dispositivo com Tecnologia IoT para Monitoramento de Consumo Bebidas**

Recife

2023

Eduardo Alexandre Pereira da Silva Júnior

**Porta-Copos Inteligente: Projeto e  
Implementação de um Dispositivo com Tecnologia  
IoT para Monitoramento de Consumo Bebidas**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica, do Departamento de Eletrônica e Sistemas, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

**Orientador(a):** Prof. João Marcelo Xavier Natario Teixeira, D.Sc.

Recife  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva Júnior, Eduardo Alexandre Pereira da.

Porta-Copos Inteligente: Projeto e Implementação de um Dispositivo com  
Tecnologia IoT para Monitoramento de Consumo Bebidas / Eduardo Alexandre  
Pereira da Silva Júnior. - Recife, 2023.

58

Orientador(a): João Marcelo Xavier Natario Teixeira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Eletrônica -  
Bacharelado, 2023.

1. internet das coisas. 2. porta-copos inteligente. 3. monitoramento. 4.  
desenvolvimento de produto. 5. hábitos saudáveis. I. Teixeira, João Marcelo  
Xavier Natario. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

Eduardo Alexandre Pereira da Silva Júnior

# **Porta-Copos Inteligente: Projeto e Implementação de um Dispositivo com Tecnologia IoT para Monitoramento de Consumo Bebidas**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica, do Departamento de Eletrônica e Sistemas, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Aprovado em: 29/09/2023

## **Banca Examinadora**

---

Prof. João Marcelo Xavier Natario Teixeira, D.Sc.  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Guilherme Nunes Melo, D.Sc.  
Universidade Federal de Pernambuco

# Agradecimentos

Agradeço de coração a minha avó, Maria Elena. Inelizmente a senhora não está mais aqui para presenciar a realização deste sonho, mas seu apoio inabalável ao longo da minha vida e seu investimento na nossa educação foram fundamentais para que eu e meu irmão pudéssemos conquistar nossos objetivos. Também quero expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Eduardo Alexandre e Maria Aparecida, por seu apoio incondicional e compreensão, especialmente nos momentos mais desafiadores da minha jornada universitária. Ao meu irmão, João Alexandre, que tem sido uma inspiração constante, meu companheiro diário e meu melhor amigo, agradeço por estar sempre ao meu lado.

A todos os amigos que fiz ao longo dessa jornada, dentro e fora da faculdade, que me acolheram e enriqueceram minha vida, meu sincero agradecimento.

Não posso deixar de mencionar meu orientador, João Marcelo, cuja orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste projeto. Sua disposição para esclarecer dúvidas e resolver problemas foi inestimável ao longo de todo o processo.

Este trabalho é dedicado a todos vocês, que de uma forma ou de outra, contribuíram para que eu chegasse até aqui. Muito obrigado!

A imaginação é mais importante  
que a ciência, porque a ciência é  
limitada, ao passo que a  
imaginação abrange o mundo  
inteiro

---

Albert Einstein

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Eletrônica e Sistemas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Eletrônica(Eng.)

## **Porta-Copos Inteligente: Projeto e Implementação de um Dispositivo com Tecnologia IoT para Monitoramento de Consumo Bebidas**

Eduardo Alexandre Pereira da Silva Júnior

A tecnologia da Internet das Coisas (IoT) tem se tornado cada vez mais presente em nosso cotidiano, como por exemplo geladeiras com conexão à internet, *smartwatches* entre outros objetos que permitem a conexão e comunicação entre dispositivos para coleta de dados e realização de análises remotas. Neste contexto de evolução e conexão de diversos aparelhos, este trabalho de conclusão de curso tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um porta-copos inteligente que utiliza o conceito de IoT para monitorar o consumo de líquidos e exibir os dados em um aplicativo próprio. Através deste projeto, busca-se demonstrar como a Internet das Coisas pode ser aplicada para promover hábitos saudáveis. É importante ressaltar que a coleta de dados sobre o consumo de líquidos pode fornecer informações valiosas sobre a hidratação diária, permitindo que o usuário faça ajustes em sua rotina para alcançar um equilíbrio adequado. Dessa forma, o projeto do porta-copos inteligente apresenta uma solução inovadora para a monitorização do consumo de líquidos e evidencia o potencial da IoT para fornecer respostas práticas e eficientes para as demandas da vida moderna.

Palavras-chave: internet das coisas, porta-copos inteligente; monitoramento; desenvolvimento de produto; hábitos saudáveis.

Abstract of Course Conclusion Work, presented to Department of Electronic and Systems, as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Electronic Engineering(Eng.)

**Smart Coaster: Project and Implementation of an IoT Device for  
Monitoring Consumption and of Beverages.**

Eduardo Alexandre Pereira da Silva Júnior

The Internet of Things (IoT) technology has become increasingly prevalent in our daily lives, enabling devices to connect and communicate for data collection and remote analysis. In this context, this present undergraduate thesis aims to present the development of a smart coaster that utilizes IoT to monitor liquid consumption and display the data in a dedicated application. This project, seeks to demonstrate how IoT can be applied to promote healthy habits and offer practical and efficient solutions for daily challenges. It is noteworthy that data collection on liquid consumption can provide valuable information about daily hydration, enabling users to adjust their routine to achieve an adequate balance. Thus, the smart coaster project presents an innovative solution for monitoring liquid consumption and highlights the potential of IoT to provide practical and efficient responses to the demands of modern life.

**Keywords:** internet of things, smart coaster; monitoring; product development; healthy habits.

# Lista de Figuras

2.1	Crescimento global das conexões M2M. . . . .	20
3.1	Célula de carga utilizada no projeto. . . . .	27
3.2	Diagrama do circuito da ponte de Wheatstone . . . . .	28
3.3	A figura mostra o circuito da ponte de Wheatstone, incluindo a célula de carga. . . . .	29
3.4	Módulo HX711 Utilizado no projeto. . . . .	30
3.5	Placa ESP32 WROOM DEVKIT V1 utilizada no projeto. . . . .	31
3.6	Diagrama de conexoes do circuito do projeto. . . . .	32
3.7	Primeiro protótipo de testes do porta-copos . . . . .	32
3.8	Protótipo de aplicativo utilizando a ferramenta MIT APP INVENTOR. 35	
4.1	Monitor Serial do Arduino IDE exibindo os valores obtidos no porta- copos para um volume de 500mL de água. . . . .	37
4.2	Valores recebidos pelo porta-copos via bluetooth. . . . .	40
4.3	Monitor serial exibindo a função de calibração enviada pelo aplicativo. 40	
4.4	Monitor serial exibindo a função de mudança de líquido para refrigerante. . . . .	41
5.1	Diagrama do circuito da ESP32. . . . .	43
5.2	Diagrama do circuito do conversor HX711. . . . .	44
5.3	Design da placa de circuito impresso do porta-copos. . . . .	45
5.4	Modelo 3D da placa de circuito impresso do porta-copos. . . . .	45
5.5	Modelo em 3D na superfície inferior do porta-copos. . . . .	46

5.6	Modelo em 3D da superfície superior do porta-copos. . . . .	47
5.7	Modelo em 3D da distribuição dos componentes dentro da case. . . .	47
5.8	Modelo 3D da case completamente montada. . . . .	47
5.9	Precificação referente a 5 placas do circuito do porta-copos no site JLCPCB. . . . .	49

# Lista de Tabelas

3.1	Tabela de Densidades. . . . .	26
4.1	Medições para o mesmo valor de volume de água. . . . .	37
4.2	Medição dos valores obtidos pelo porta-copos para diferentes volumes. . . . .	38
4.3	Medição do consumo de líquidos ao longo do tempo. . . . .	39

# Lista de Abreviações

AD Analógico-para-Digital

bps ...bits por segundo

CI ..Circuito Integrado

DA Digital-para-Analógico

# Lista de Símbolos

A	.....	Ampère
e	Constante de Euler ou Constante de Napier	
E	.....	Energia

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>15</b>
1.1	Justificativa . . . . .	15
1.2	Objetivo Geral . . . . .	16
1.2.1	Objetivos específicos . . . . .	16
1.3	Organização do TCC . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>19</b>
2.1	Internet das Coisas . . . . .	19
2.1.1	Microcontroladores . . . . .	21
2.1.2	<i>Software</i> Embarcado . . . . .	22
2.1.3	Projeto Relacionado . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>25</b>
3.1	Idealização do projeto . . . . .	25
3.2	Componentes Utilizados . . . . .	26
3.2.1	Célula de Carga . . . . .	26
3.2.2	Módulo conversor e amplificador HX711 . . . . .	29
3.2.3	ESP32 . . . . .	30
3.3	Prototipagem, Código e Aplicativo . . . . .	31
3.3.1	Código . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Testes e Validação</b>	<b>36</b>
4.1	Testes . . . . .	36
4.1.1	Teste Inicial . . . . .	36

4.1.2	Teste para diferentes volumes . . . . .	38
4.1.3	Teste de funcionalidade do aplicativo . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Design da Placa de Circuito Impresso e <i>Case</i> 3D</b>	<b>42</b>
5.1	Esquemático e Placa do circuito . . . . .	42
5.1.1	Esquemático da ESP32 . . . . .	42
5.1.2	Esquemático do Conversor HX711 . . . . .	43
5.1.3	Design da Placa de Circuito Impresso . . . . .	44
5.1.4	Modelo 3D da PCB do Porta-Copos . . . . .	45
5.2	Construção da Case do porta-copos . . . . .	46
5.3	Impressão da case . . . . .	48
5.4	Precificação do Projeto Total . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>50</b>
6.1	Conclusão . . . . .	50
6.2	Dificuldades Encontradas . . . . .	51
6.3	Trabalhos Futuros . . . . .	51
	<b>Referências</b>	<b>53</b>
	<b>Apêndices</b>	<b>57</b>
<b>A</b>	<b>Apêndices</b>	<b>57</b>
A.1	Repositório github . . . . .	57
A.2	Vídeo de demonstração . . . . .	57

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Justificativa

Diante da crescente necessidade de melhoria na qualidade de vida diária, especialmente em um contexto onde aulas remotas e o trabalho *home office* se tornaram cada vez mais comuns, é de extrema importância desenvolver tecnologias que possam auxiliar na manutenção dos cuidados diários com a saúde. Em particular, para aqueles que passam a maior parte do dia em suas mesas de trabalho, é fundamental encontrar soluções que facilitem o monitoramento adequado de seus hábitos, principalmente aqueles que podem afetar diretamente sua saúde.

Muitas vezes, devido às tarefas e à falta de uma rotina estruturada, acabamos nos esquecendo de nos hidratar adequadamente, o que pode resultar em problemas de saúde tanto a curto como a longo prazo.

No contexto em questão, o monitoramento efetivo da ingestão de água e outros líquidos torna-se essencial para garantir uma hidratação adequada ao longo do dia. Com o auxílio da Internet das Coisas, é possível desenvolver soluções inovadoras que promovam maior controle e conscientização sobre a importância da hidratação regular.

Este projeto busca fornecer uma solução prática e eficiente para o controle do consumo de líquidos, por meio do desenvolvimento de um porta-copos inteligente. Ao utilizar um dispositivo IoT conectado ao aplicativo, o usuário terá acesso a

informações em tempo real sobre a quantidade de líquido ingerido, possibilitando a adoção de hábitos saudáveis de hidratação.

Além disso, este trabalho contribui para a área de Internet das Coisas, demonstrando uma aplicação prática e funcional, que integra dispositivos físicos e plataformas digitais. Ao explorar os recursos disponíveis, como sensores analógicos, e a capacidade de comunicação do ESP32, este projeto demonstra o potencial da IoT no campo da saúde e bem-estar.

## 1.2 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um dispositivo IoT, que possa monitorar em tempo real a ingestão de líquidos. Especificamente, será utilizado o microcontrolador ESP32 em conjunto com um sensor de peso, para realizar essa medição. Além disso, será desenvolvido um aplicativo móvel que receberá os dados do dispositivo por meio de comunicação Bluetooth, permitindo que todas as informações coletadas sejam visualizadas e acessadas de forma conveniente.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho estão listados a seguir:

- Projetar e desenvolver um dispositivo de porta-copos inteligente, que seja capaz de medir com precisão a quantidade de líquido ingerido pelo usuário, durante o dia;
- Desenvolver um aplicativo móvel que permita receber os dados do dispositivo por meio de comunicação Bluetooth e apresentar as informações de ingestão de líquidos de forma clara e acessível ao usuário;
- Desenvolver um *case* para o dispositivo, utilizando modelagem 3D, que seja adequado para abrigar a placa de circuito impresso e os outros componentes eletrônicos;

- Avaliar a usabilidade e desempenho com relação ao dispositivo e ao aplicativo, buscando possíveis melhorias e ajustes para aprimorar sua experiência de uso.

## 1.3 Organização do TCC

O conteúdo deste TCC está dividido em sete capítulos. As referências encontram-se nas páginas finais, assim como o código do dispositivo e arquivos referentes ao modelo 3D. A seguir, segue um resumo dos próximos capítulos do TCC.

**Capítulo 2 - Fundamentação Teórica.** Neste Capítulo se encontra a fundamentação teórica dos sensores, dispositivos e tecnologias utilizados no desenvolvimento do projeto.

**Capítulo 3 - Trabalhos Relacionados.** Neste Capítulo, foi realizada uma comparação entre este projeto do porta-copos e outra solução existente no mercado. Nesse contexto, foram avaliadas as respectivas vantagens e desafios de ambas as abordagens, fornecendo uma visão abrangente das contribuições e oportunidades em nossa área de pesquisa.

**Capítulo 4 - Desenvolvimento.** Neste Capítulo, são abordados em detalhes todos os aspectos do projeto, desde a etapa de prototipagem até a análise dos dados obtidos pelo dispositivo.

**Capítulo 5 - Testes e Validação.** Neste Capítulo serão disponibilizados os testes e resultados do porta-copos, assim com a validação e a precificação do projeto completo.

**Capítulo 6 - Design da Placa de Circuito Impresso e Case 3D.** Este Capítulo abordará o desenvolvimento do design da placa de circuito impresso e sua montagem, bem como o processo de modelagem 3D da caixa do porta-copos, oferecendo uma visão detalhada de ambas as etapas de design.

**Capítulo 7 - Considerações Finais.** O Capítulo de Considerações Finais contém uma reflexão abrangente sobre todo o trabalho desenvolvido neste TCC, incluindo uma análise dos resultados obtidos e uma avaliação da usabilidade do dispositivo. Também são apresentadas verificações de possíveis melhorias e modificações futuras.

## Capítulo 2

# Fundamentação Teórica

### 2.1 Internet das Coisas

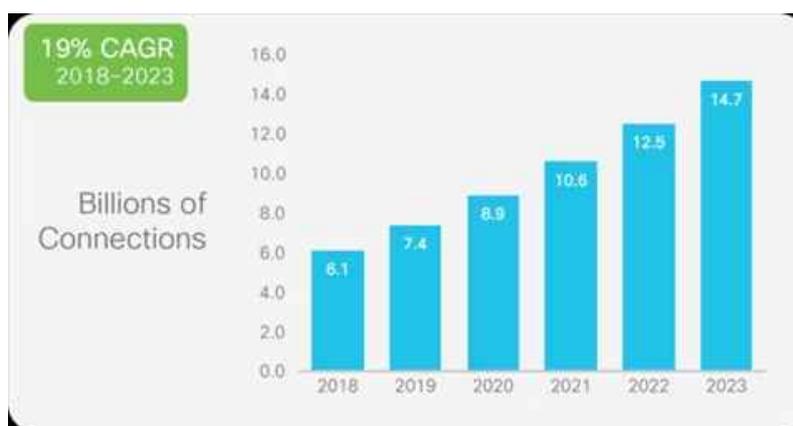
A Internet das Coisas é uma revolução tecnológica que tem transformado diversos setores da sociedade, proporcionando uma nova forma de interconectar objetos do nosso cotidiano e tornando-os inteligentes e conectados. Kevin Ashton, um dos pioneiros na concepção da IoT, cunhou o termo em seu influente artigo “That Internet of Things Thing” (Ashton, 2009). Nesse contexto, IoT se refere à interligação de dispositivos físicos através da internet, permitindo a coleta e troca de dados entre eles.

Essa interconexão de objetos físicos pela internet, constitui a essência da IoT, e suas implicações alcançam uma ampla gama de áreas, desde a automação residencial até a indústria. A IoT capacita objetos comuns a coletar dados, compartilhar informações e, frequentemente, tomar decisões de forma autônoma com base nesses dados. Esse avanço tecnológico não apenas aprimora a eficiência e a conveniência em nossas vidas diárias, como também abre novas perspectivas em campos tão diversos quanto medicina, logística, agricultura e muitos outros (Marchant, 2021)

Além disso, o crescimento do IoT é notável, impulsionado por uma ampla variedade de aplicações M2M (*Machine-to-Machine*) em diversas indústrias. Conforme indicado no “Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper”, o número de conexões globais de IoT cresceu 18% em 2022, atingindo 14,3 bilhões de dispositivos

IoT ativos. Para o ano de 2023, a previsão é que esse número continue a crescer, atingindo 16,7 bilhões de dispositivos ativos (Cisco,2020). Embora o crescimento projetado para 2023 seja ligeiramente menor do que o observado em 2022, as conexões de dispositivos IoT devem continuar expandindo-se nos próximos anos. Na Figura 2.1, é possível verificar o crescente número de dispositivos conectados em todo o mundo.

**Figura 2.1:** Crescimento global das conexões M2M.



Fonte: (Cisco, 2020).

Certamente, sistemas de saúde baseados em IoT e suas aplicações têm revolucionado a maneira como cuidamos da nossa saúde. Eles oferecem benefícios notáveis, como a capacidade de fornecer cuidados de saúde remotamente, onde dados seguros são coletados por meio de sensores IoT e analisados antes de serem compartilhados com profissionais de saúde. Além disso, o monitoramento em tempo real, suportado por sensores não invasivos impulsionados pela IoT, coleta informações abrangentes sobre a saúde, permitindo um gerenciamento mais eficaz (Sanar,2020).

O desenvolvimento desses sistemas de monitoramento de saúde baseados em IoT tem sido um foco crescente de pesquisa, especialmente diante do aumento da população idosa e de pacientes com doenças crônicas. A IoT, combinada com tecnologias inteligentes e sensores, oferece uma solução eficaz para o monitoramento em tempo real da saúde de idosos e pessoas com deficiência. Essas tecnologias possibilitam a coleta de dados essenciais sobre a saúde geral e a detecção precoce de situações de risco, melhorando assim a qualidade dos cuidados de saúde (Abdulma-

lek et al.,2022).

### 2.1.1 Microcontroladores

Os microcontroladores, também conhecidos como unidades de microcontrolador (MCUs) ou controladores embutidos, desempenham um papel fundamental em sistemas embarcados, oferecendo a capacidade de controlar funções específicas em uma ampla variedade de dispositivos. Esses pequenos dispositivos integrados são projetados para incorporar um processador, memória e periféricos de entrada/saída (I/O) em um único *chip*, operável de forma eficiente e sem a necessidade de um sistema operacional complexo. Essa característica facilita a portabilidade e programação do sistema, tornando-os componentes essenciais em diversas aplicações, desde sistemas automotivos até dispositivos médicos implantáveis e eletrodomésticos, onde são responsáveis por controlar recursos específicos e executar tarefas críticas (Kenshima,2021).

O funcionamento dos microcontroladores é intrincado e depende da interpretação e processamento de dados provenientes de periféricos. Esses dispositivos compactos armazenam temporariamente os dados em memória, onde o processador central acessa e executa operações com base em instruções armazenadas na memória de programa. Devido à sua eficiência energética e à capacidade de operar em modo de espera, esses microcontroladores são ideais para aplicações sensíveis ao consumo de energia, como dispositivos médicos implantáveis, onde eficácia e confiabilidade são essenciais. Essa facilidade de portabilidade torna os microcontroladores uma escolha versátil para uma ampla gama de aplicações em sistemas IoT, permitindo a criação de sistemas integrados que podem solucionar uma variedade de desafios do cotidiano (Lutkevich,2019).

Além disso, a facilidade de programação dos microcontroladores, como o Arduino, que se trata de uma plataforma para desenvolvimento utilizando um microcontrolador Atmel, permite a criação de soluções personalizadas de forma conveniente. Sua versatilidade e a ampla disponibilidade de recursos de desenvolvimento

simplificam o processo de projetar e implementar funcionalidades específicas para atender às necessidades de diversas aplicações. Essa característica torna os microcontroladores, incluindo plataformas como o Arduino, uma escolha ideal para desenvolvedores e engenheiros que desejam adaptar dispositivos e sistemas de acordo com requisitos precisos, garantindo eficácia e flexibilidade em suas soluções (Wikipedia,2023).

### **2.1.2 *Software* Embarcado**

Os sistemas embarcados, amplamente presentes em nossa vida cotidiana, representam uma categoria fundamental de sistemas computacionais. Esses sistemas, compostos por *hardware* e *software* projetados para funções específicas de um projeto. Eles possuem referência por sua simplicidade, eficiência e custo relativamente baixo, geralmente incluindo componentes essenciais como microcontroladores, sensores e atuadores. Além disso, sua concepção considera restrições de espaço e recursos, como limitações de memória e capacidade de processamento (Souza,2022).

Os sistemas embarcados têm uma presença abrangente em diversas áreas, abrangendo desde a indústria automobilística até dispositivos médicos e sistemas de segurança. Esses sistemas são programáveis para operar de forma automatizada e precisa, com a capacidade de tomar decisões com base em entradas de sensores ou outras condições. Conforme a tecnologia avança, esses sistemas desempenham um papel cada vez mais vital em nossa sociedade moderna, influenciando desde dispositivos de uso pessoal até sistemas de infraestrutura crítica, como transporte e energia. Seu papel e impacto na atualidade são cruciais, e sua sofisticação continua a crescer em resposta às demandas da sociedade contemporânea (Souza,2022).

### **2.1.3 Projeto Relacionado**

No vasto mundo dos dispositivos conectados, encontramos uma ampla gama de soluções que abrangem diversos aspectos de nossa vida cotidiana. No contexto da monitorização da ingestão de água, várias abordagens têm sido desenvolvidas e

testadas. Um exemplo notável é uma garrafa inteligente que faz uso de um sensor ultrassônico para rastrear o consumo de água (Lahari,2021). Esta solução, proposta por J. LAXMI LAHARI do Departamento de Eletrônica e Comunicação e Ciência, Warangal, emprega o mesmo princípio de objetos conectados à rede, semelhante ao que foi utilizado neste projeto. Entretanto, é importante destacar que existem diferenças significativas entre os dois projetos.

### **Metodologias utilizadas nos projetos**

A metodologia empregada neste projeto baseia-se na medição da ingestão de líquidos por meio da variação de peso relativo da água. Em contraste, no projeto da garrafa inteligente apresentado por J. LAXMI LAHARI, a medição da ingestão de água é realizada utilizando um sensor ultrassônico para determinar o nível de água dentro do recipiente. Ambas as abordagens fazem comparações relativas, uma com base no peso do líquido e a outra na altura da coluna de água dentro do recipiente (Lahari,2021).

### **Comparação entre Abordagens: Prós e Contras**

Neste projeto, foi adotado o conceito de monitorar a ingestão de água de forma independente do recipiente utilizado pelo usuário. Isso se deve à capacidade do porta-copos de capturar dados de maneira passiva, exigindo apenas que o recipiente seja colocado sobre o porta-copos sempre que o usuário desejar medir o consumo de líquido. Por outro lado, no projeto da garrafa inteligente, o dispositivo está incorporado à própria garrafa, o que impede que o usuário meça o consumo caso não esteja com a garrafa em mãos ou esteja utilizando outro tipo de recipiente (Lahari,2021).

Por outro lado, o projeto da garrafa inteligente permite uma maior portabilidade se comparado ao porta-copos, por possuir uma bateria própria que permite medir o consumo de água em um ambiente externo, como academias e caminhadas. Ambos os projetos têm seus pontos positivos e negativos, e as duas abordagens permitem

medir o consumo de líquidos de formas diferentes, sendo a escolha entre elas dependente das necessidades e preferências individuais do usuário (Lahari,2021).

# Capítulo 3

## Desenvolvimento

### 3.1 Idealização do projeto

Para a realização deste projeto, um dos principais desafios consiste em encontrar uma forma passiva de medir o volume dos líquidos, sem exigir que o usuário realize ações adicionais além de colocar o copo sobre o porta-copos. A ideia dependeria de um dispositivo que oferecesse essa praticidade e que tornasse a medição do volume dos líquidos uma tarefa simples e automática.

A abordagem escolhida no projeto, que contempla as necessidades identificadas no início do desenvolvimento, foi a utilização da massa do recipiente como meio de medição do volume ingerido. Através do cálculo do volume com base na densidade do líquido presente no recipiente, é possível obter uma estimativa aproximada do volume consumido.

A fórmula utilizada para calcular o volume é a relação entre densidade, massa e o volume, representada pela equação 3.1:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (3.1)$$

onde  $\rho$  é a densidade do líquido,  $m$  é a massa e  $V$  o volume. Essa fórmula, conhecida como fórmula da densidade, foi desenvolvida pelo cientista grego Arquimedes no século III a.C.(Wikipedia,2023).

Cada líquido possui uma densidade específica, que é a relação entre sua massa e volume. Para o cálculo do volume aproximado ingerido, utilizaremos os valores de densidade previamente determinados em experimentos científicos e registrados em uma tabela de referência. A tabela 3.1 apresenta as densidades utilizadas para cada líquido no projeto, juntamente com suas respectivas referências:

**Tabela 3.1:** Tabela de Densidades.

Líquido	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Referência
Água (25°C)	997	(Wikipedia, 2023)
Café	± 1190	(Khomyakov et al., 2020)
Coca Cola	1026	(Havard, 2016)
Coca Cola Zero	911	(Havard, 2016)

Fonte: Citada na coluna de referências.

Após calcular o volume utilizando a equação 3.1, o sistema verificará se o valor do volume diminuiu, e os valores serão armazenados na memória da ESP32 e enviados por meio de conexão Bluetooth para um aplicativo. Esse aplicativo exibirá os dados de consumo dos líquidos selecionados, permitindo ao usuário acompanhar e monitorar sua ingestão.

## 3.2 Componentes Utilizados

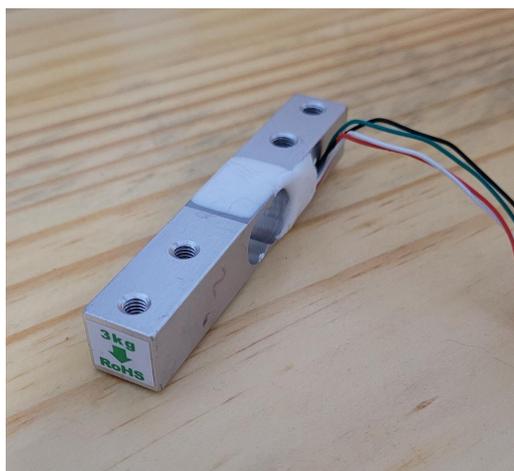
### 3.2.1 Célula de Carga

A medição do peso do recipiente requer um componente capaz de converter uma força física em um sinal digital que possa ser lido pelas GPIOs do microcontrolador. Esse componente é conhecido como célula de carga, um dispositivo que converte a força exercida em um sinal elétrico, que pode ser traduzido em uma medida aproximada de massa, o modelo utilizado no projeto pode ser visto na Figura 3.1. A célula de carga é composta por uma barra metálica que possui extensômetros localizados em seu centro (Circuit Schools, 2022).

Os extensômetros são componentes eletrônicos que medem a força ou tensão física aplicada ao objeto onde estão localizados. Eles alteram sua resistência em res-

posta à pressão ou à força exercida sobre eles, graças ao efeito piezoresistivo. Esse efeito consiste na variação da resistência elétrica de um material metálico ou semicondutor quando submetido a uma tensão mecânica (Wikipedia, 2023). Na célula de carga, os extensômetros são posicionados na barra metálica para capturar as deformações causadas pela carga aplicada. Dessa forma, as variações na resistência dos extensômetros permitem obter uma medida aproximada do peso do recipiente.

**Figura 3.1:** Célula de carga utilizada no projeto.



Fonte: O Autor.

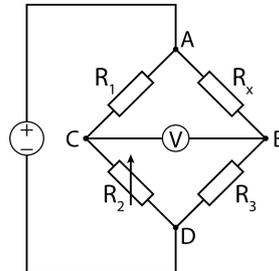
Há vários tipos de extensômetros, que variam sua resistência de acordo com diferentes forças e tensões, dependendo do modelo da célula de carga. A possibilidade de construir extensômetros com diferentes intervalos de tensão permite adaptá-los às necessidades específicas (Ferreira, 2021). Para este projeto, foi utilizada uma célula de carga de 3 kg, uma vez que para um porta-copos não é necessário medir pesos maiores que esse valor.

Um dos problemas dos extensômetros se dá quando as variações da resistência se encontra em um valor muito baixo, o que pode ocasionar um sinal elétrico que não pode ser medido por ser imperceptível. Para isso ao lado da célula de carga se encontra uma ponte de Wheatstone (Circuit Schools, 2022).

A ponte de Wheatstone foi desenvolvida pelo físico Samuel Hunter Christie em 1833. É composta por quatro resistores dispostos em uma configuração de ponte. Quando uma resistência dentro da ponte varia, ocorre um desequilíbrio no circuito, gerando um sinal de saída proporcional à variação. Esse sinal pode ser amplificado

e utilizado para realizar medições precisas de grandezas físicas, como força, pressão ou deformação (Wikipedia, 2018). O diagrama do circuito da ponte de Wheatstone pode ser visto na Figura 3.4.

**Figura 3.2:** Diagrama do circuito da ponte de Wheatstone.



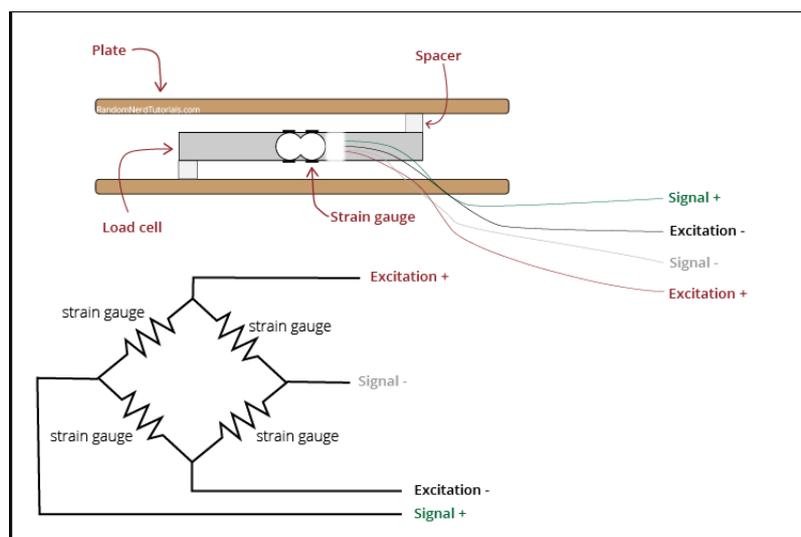
Fonte: (Wikipedia, 2018).

Após a amplificação do sinal elétrico produzido pelos extensômetros e processado pela ponte de Wheatstone, o sinal resultante saem nos 4 fios da célula de carga (Circuit Schools, 2022):

- *Excitation (+)*;
- *Excitation (-)*;
- *Signal (+)*;
- *Signal (-)*.

A disposição dos fios mencionada pode ser visualizada na Figura 3.3. Esta figura ilustra a conexão dos diferentes fios da célula de carga, na configuração da ponte de Wheatstone. As entradas do circuito são alimentadas com a tensão de entrada, enquanto as saídas são as conexões onde o sinal elétrico resultante do desequilíbrio da ponte pode ser medido.

**Figura 3.3:** A figura mostra o circuito da ponte de Wheatstone, incluindo a célula de carga.



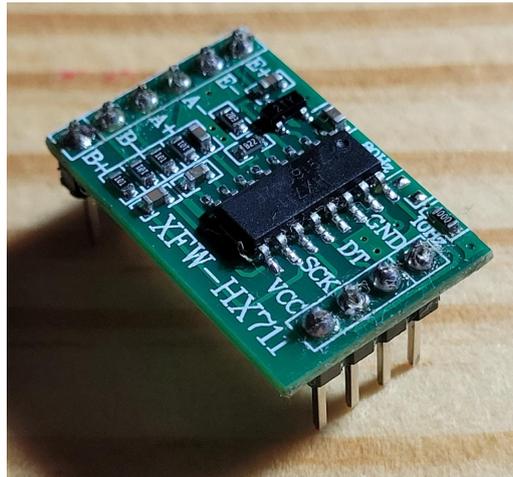
Fonte: (Santos, 2022).

### 3.2.2 Módulo conversor e amplificador HX711

O amplificador de célula de carga HX711 é um dispositivo utilizado para a leitura de células de carga, permitindo a medição de pesos e forças. Ele é composto por um conversor analógico-digital de 24 *bits* e um amplificador de instrumentação de alta precisão. Ele opera após a ponte de Wheatstone, onde a célula de carga é conectada em uma configuração de ponte, juntamente com resistores de compensação. Quando uma força é aplicada à célula de carga, ocorre um desequilíbrio na ponte, resultando em uma variação na tensão de saída. Como explicado anteriormente, essas saídas são conectadas nos terminais do HX711. Para que o HX711 funcione corretamente, é necessário que a célula de carga possua uma ponte de Wheatstone integrada em seu circuito (SPARKFUN, 2016).

O HX711 possui uma arquitetura de dois canais, permitindo a conexão de duas células de carga simultaneamente. Ele utiliza uma interface de comunicação de dois fios (*Clock* e *Data*) para se comunicar com o microcontrolador, no caso do nosso projeto uma ESP32 (Circuit Schools, 2022).

**Figura 3.4:** Módulo HX711 Utilizado no projeto.



Fonte: O Autor.

### 3.2.3 ESP32

O microcontrolador ESP32 é um dispositivo de baixo custo e baixo consumo de energia, desenvolvido pela Espressif Systems. Ele é baseado na arquitetura Xtensa LX6, que oferece um desempenho ideal para aplicações de IOT devido à sua flexibilidade e capacidade de configuração (Espressif Systems, 2017).

A arquitetura Xtensa LX6 permite que os desenvolvedores personalizem o processador de acordo com suas necessidades específicas. Isso significa que é possível selecionar recursos opcionais, como *caches* de instruções e dados, unidades de ponto flutuante, unidades de multiplicação e outros periféricos, para atender aos requisitos de processamento do projeto em questão. A ESP32 também possui 2 canais Bluetooth que serão essenciais na construção deste projeto, pois será a comunicação utilizada para o envio dos dados do dispositivo para o aplicativo (Espressif Systems, 2017).

Para a prototipação do projeto e testes, foi utilizado a placa ESP32 WROOM DEV KIT V1, que possui um número de 36 GPIOs e antena integrada no circuito (Renzo Mischianti, 2021). Para programar o microcontrolador, é utilizado um cabo micro USB, que utiliza a comunicação serial UART para compilação e integração do código no microcontrolador. A linguagem de programação usada é uma variante

simplificada do C++ com uma *Application Programming Interface (API)* específica do Arduino. Embora a linguagem seja semelhante ao C++, existem algumas diferenças e restrições específicas ao ambiente Arduino.

**Figura 3.5:** Placa ESP32 WROOM DEVKIT V1 utilizada no projeto.



Fonte: O Autor.

### 3.3 Prototipagem, Código e Aplicativo

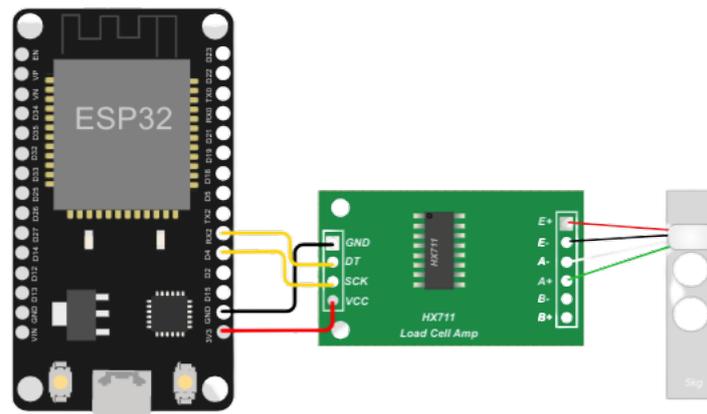
Para a montagem do circuito protótipo, foram utilizados *jumpers* para conectar as saídas do amplificador HX711 à placa de desenvolvimento ESP32 Wroom Devkit V1. As saídas da célula de carga foram soldadas nas entradas do amplificador HX711, conforme mostrado no circuito da Figura 3.6. A célula de carga foi fixada na caixa impressa em 3D, enquanto os demais componentes foram dispostos dentro do porta-copos.

As ligações das saídas do HX771 estão conectadas às respectivas entradas da ESP32:

- VCC está conectado à saída de 3.3V da ESP32;

- GND está conectado ao terra (ground) da ESP32;
- SCK está conectado ao pino GPIO 16 da ESP32;
- DR está conectado ao pino GPIO 4 da ESP32.

**Figura 3.6:** Diagrama de conexões do circuito do projeto.



Fonte: (Wokwi, 2023).

Na etapa de prototipagem, fixou-se a célula de carga na caixa impressa em 3D, utilizando PLA (Ácido Poliláctico) como material do filamento. O amplificador HX771 também foi posicionado dentro da caixa. Para facilitar os testes, a ESP32 foi mantida fora da caixa. A Figura 3.7 ilustra o primeiro protótipo do porta-copos.

**Figura 3.7:** Primeiro protótipo de testes do porta-copos.



Fonte: O Autor.

### 3.3.1 Código

O código do porta-copos foi escrito na linguagem de programação C++, utilizando o aplicativo Arduino IDE como interface de programação e visualização da porta serial. O Arduino IDE é um aplicativo desenvolvido pela equipe do Arduino, que permite a codificação e o envio do código para o dispositivo através da porta serial USB. Ele também é compatível com diversos outros microcontroladores que utilizam a mesma linguagem para programação (Wikipedia, 2022).

Para o projeto, foram utilizadas as bibliotecas HX711.h (RobTillaart, 2021), SPIFFS.h (ESPRESSIF, 2017) e BluetoothSerial.h (ESPRESSIF, 2018). Essas bibliotecas fornecem funcionalidades adicionais e facilitam a comunicação com os componentes utilizados no projeto. O trecho de código apresentado tem a função de realizar a calibração da célula de carga. Nele, foram definidos os pinos nos quais estão conectadas as saídas DT e SCK do módulo HX711. No projeto, essas saídas estão conectadas aos pinos 16 e 4, respectivamente. Os código serão disponibilizados na seção Apendice A desse projeto.

#### **Calibracao.ino**

O código contido no arquivo “Calibracao.h” desempenha um papel fundamental na calibração inicial dos dados do porta-copos. A função “*scale.getValue()*” é responsável por calcular o valor médio de 10 leituras realizadas pelo módulo HX711, que está conectado à balança. Esse valor é exibido na porta serial do Arduino IDE e representa a leitura bruta feita pela balança.

Para realizar a calibração, um peso conhecido é colocado sobre a balança, e o valor bruto medido nas portas da ESP32 é registrado. Em seguida, esse valor bruto é dividido pelo peso conhecido, gerando um fator de calibração. Esse fator será aplicado no código principal para converter as leituras brutas da balança em valores de peso precisos no código principal para converter as leituras brutas da balança em valores de peso corretos.

## PortaCopos.ino

O código contido em “PortaCopos.ino” é responsável pelo funcionamento global do sistema do porta-copos inteligente. Ele abrange a captura de dados da balança no porta-copos, bem como a comunicação bidirecional de dados via Bluetooth.

Uma parte crítica no desenvolvimento deste código foi assegurar a estabilidade dos dados assim que um recipiente é colocado sobre o porta-copos. Essa estabilidade é alcançada por meio da verificação dos arrays que armazenam os dados recebidos. O sistema avalia a diferença entre dois dados consecutivos armazenados em posições diferentes do *array*. Quando essa diferença se torna mínima, o valor é considerado estável e é utilizado como leitura correta.

No código, também foram implementadas funções que respondem a comandos específicos provenientes do aplicativo. Por exemplo, quando uma mensagem no formato [“funcao”: “liquid select”, “value”: “água”] é recebida, o sistema identifica que o líquido selecionado no aplicativo é a água.

## Aplicativo

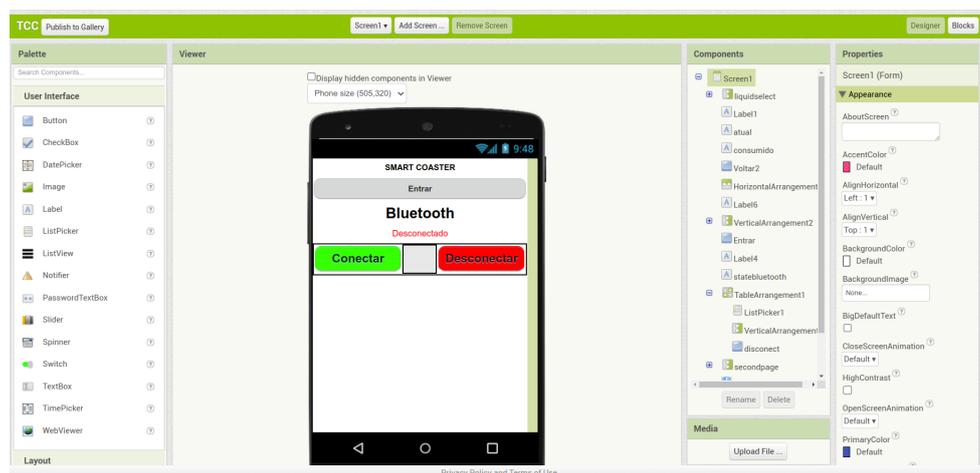
O aplicativo complementar foi desenvolvido utilizando o MIT App Inventor, uma plataforma de código aberto desenvolvida pelo google, mas mantida pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) (Wikipedia, 2023). Essa ferramenta é conhecida por sua interface amigável e capacidade de integração com uma variedade de recursos.

Com o MIT App Inventor, foi possível demonstrar a comunicação em tempo real via Bluetooth, entre o aplicativo e o porta-copos inteligente. Além disso, o aplicativo permitiu a captura eficaz dos dados do porta-copos e sua exibição para o usuário. O objetivo principal foi mostrar que os dados estavam sendo coletados e transmitidos corretamente do porta-copos para o aplicativo.

Foi pertinente utilizar o MIT App Inventor para criar um protótipo de aplicativo, que ilustra como um aplicativo mais completo e personalizado poderia ser desenvolvido em linguagens de programação específicas. Embora o foco principal deste

projeto fosse o desenvolvimento do produto do porta-copos, essa etapa foi relevante para demonstrar as possibilidades futuras de expansão do produto. A Figura 3.8 mostra um protótipo do aplicativo em uma tela de edição no MIT App Inventor, o.

**Figura 3.8:** Protótipo de aplicativo desenvolvido utilizando a ferramenta MIT APP INVENTOR.



Fonte: O Autor.

# Capítulo 4

## Testes e Validação

### 4.1 Testes

Nesta seção dedicada aos testes do porta-copos, foram realizadas avaliações abrangentes para verificar a estabilidade dos valores registrados, bem como a precisão na medição do volume coletado. Os resultados desses testes são apresentados detalhadamente nas subseções a seguir.

#### 4.1.1 Teste Inicial

Primeiramente, foram realizados testes isolados para verificar a consistência dos valores medidos pelo porta-copos. O mesmo volume de líquido foi inserido repetidamente no recipiente para avaliar se haveria variações significativas nos valores. Foi observado que ocorria um pequeno erro de mais ou menos um ml entre as medições.

Para verificar os valores medidos pelo porta-copos, foi utilizado o monitor serial do Arduino IDE. Através dele, foram exibidos os valores capturados durante os testes. A Figura 4.1 ilustra um exemplo dos valores mostrados no monitor serial.

**Figura 4.1:** Monitor Serial do Arduino IDE exibindo os valores obtidos no porta-copos para um volume de 500mL de água..

```

Output - Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on '/dev/ttyUSB0')
New Line 115200 baud
-----
Vetor1: 500,841
Consumido: 4753,478 L
Dados salvos com sucesso na memória SPIFFS.
#
500,97
VetorAux0 500,97
VetorAux1 478,08
Medida aux500,84
Vetor0: 500,841
Vetor1: 500,841
Consumido: 4753,478 L
Dados salvos com sucesso na memória SPIFFS.
#
501,00
VetorAux0 501,00
VetorAux1 500,97
Medida aux501,00
Vetor0: 501,004
Vetor1: 500,841
Consumido: 4753,478 L
Dados salvos com sucesso na memória SPIFFS.
#
501,01
VetorAux0 501,01
VetorAux1 501,00
Medida aux501,01
Vetor0: 501,008
Vetor1: 501,004
Consumido: 4753,478 L
Dados salvos com sucesso na memória SPIFFS.
#
501,03
VetorAux0 501,03
VetorAux1 501,01
Medida aux501,03
Vetor0: 501,031
Vetor1: 501,008
Consumido: 4753,478 L
Dados salvos com sucesso na memória SPIFFS.
#
501,05
VetorAux0 501,05
VetorAux1 501,03
Medida aux501,05

```

Fonte: O Autor.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos para um volume de 500 ml de água, com 10 medições realizadas pelo porta-copos:

**Tabela 4.1:** Medições para o mesmo valor de volume de água.

Medição	Valor Medido (g)
1	500,77
2	500,81
3	501,01
4	501,92
5	500,88
6	501,07
7	500,74
8	500,95
9	500,84
10	500,92

Fonte: O Autor.

Observa-se que os valores medidos apresentam uma pequena variação em torno do valor esperado de 500 g, o que é coerente com a margem de erro identificada durante os testes iniciais. Esses resultados demonstram a capacidade do porta-copos em medir de forma aproximada o volume de líquido inserido no recipiente. Entretanto, para garantir uma maior precisão nas medições, serão necessários ajustes e calibrações adicionais.

Os vetores “VetorAux0”, “VetorAux1”, “Vetor0” e “Vetor1” são utilizados para salvar o valor assim que a variação da medição do porta-copos estabilizar, evitando assim coletar um dado errôneo durante a utilização do dispositivo.

#### 4.1.2 Teste para diferentes volumes

Neste teste, foi utilizado um recipiente marcado com diferentes níveis de volume para avaliar a capacidade do porta-copos e a precisão das medições em relação a diferentes pesos registrados na balança. Os resultados das medições para cada nível de volume controlado pelas marcações do recipiente estão apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2:** Medição dos valores obtidos pelo porta-copos para diferentes volumes.

<b>Volume do recipiente</b>	<b>Valor medido pelo porta-copos</b>
80 ml	78,82 ml
140 ml	140,98 ml
210 ml	209,43 ml
280 ml	278,26 ml
360 ml	358,09 ml

Fonte: O Autor.

O teste do valor ingerido, foi realizado utilizando uma garrafa de 500 ml como referência. O objetivo foi verificar a precisão do porta-copos, ao medir a quantidade de líquido consumido ao longo de diferentes períodos de tempo, como 1 dia, 3 dias e 7 dias. A comparação foi feita entre a quantidade de líquido mostrada no aplicativo e o número de garrafas consumidas durante cada período.

Essa análise permitiu avaliar a acurácia do sistema em medir o consumo de líquidos, ao longo do tempo e verificar se os valores exibidos no aplicativo corres-

pondiam ao número real de garrafas consumidas. Os valores podem ser vistos na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3:** Medição do consumo de líquidos ao longo do tempo.

Período de Tempo	Número de Garrafas Consumidas	Valor Acumulado no Porta-Copos
1 dia	4	1986 ml
3 dias	11	5432 ml
5 dias	19	9420 ml

Fonte: O Autor.

Os valores apresentados na tabela 4.3 representam o número de garrafas consumidas e os valores medidos pelo porta-copos em diferentes períodos de tempo. Estes dados foram usados para avaliar a precisão do sistema de medição do porta-copos.

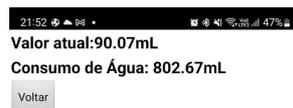
### 4.1.3 Teste de funcionalidade do aplicativo

Nesse teste, foi verificada a comunicação Bluetooth entre o porta-copos e o aplicativo desenvolvido no MIT App Inventor. O objetivo principal foi avaliar a eficácia dessa comunicação, bem como a capacidade do porta-copos de receber e processar comandos do aplicativo em tempo real.

#### Recebimento de Valores Medidos

Verificou-se se o porta-copos conseguia receber e exibir corretamente os valores de medição de líquidos. Isso envolveu a colocação de diferentes recipientes com líquidos no porta-copos e a verificação da precisão das medições exibidas no aplicativo. Na Figura 4.2 é possível ver os dados recebidos pelo porta-copos.

**Figura 4.2:** Valores recebidos pelo porta-copos via bluetooth.

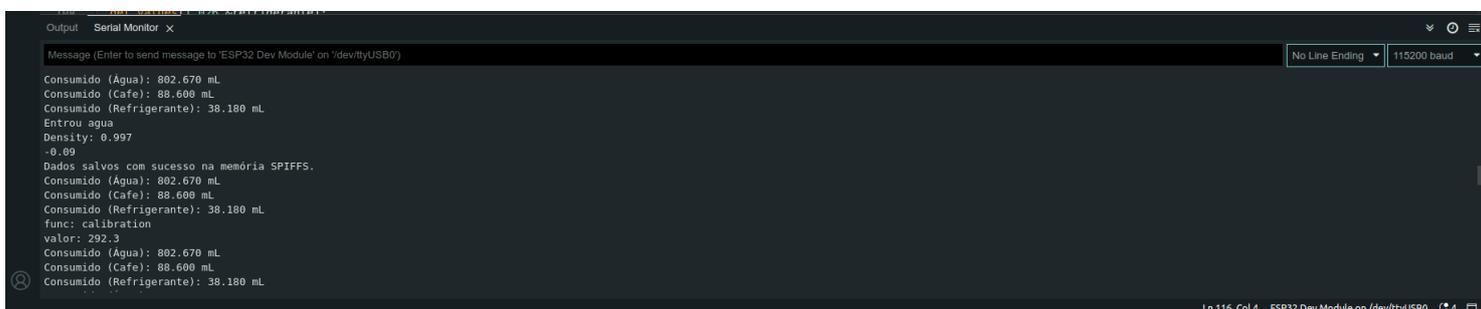


Fonte: O Autor.

## Envio de Funções de Calibração

Foi testada a capacidade do aplicativo de enviar comandos de calibração para o porta-copos. Isso incluiu a realização de calibrações bem-sucedidas e a verificação da resposta do porta-copos a esse comando. Na Figura 4.3 é possível verificar o recebimento da função de calibração enviada pelo aplicativo a seguir do valor de referência digitado pelo usuário.

**Figura 4.3:** Monitor serial exibindo a função de calibração enviada pelo aplicativo.

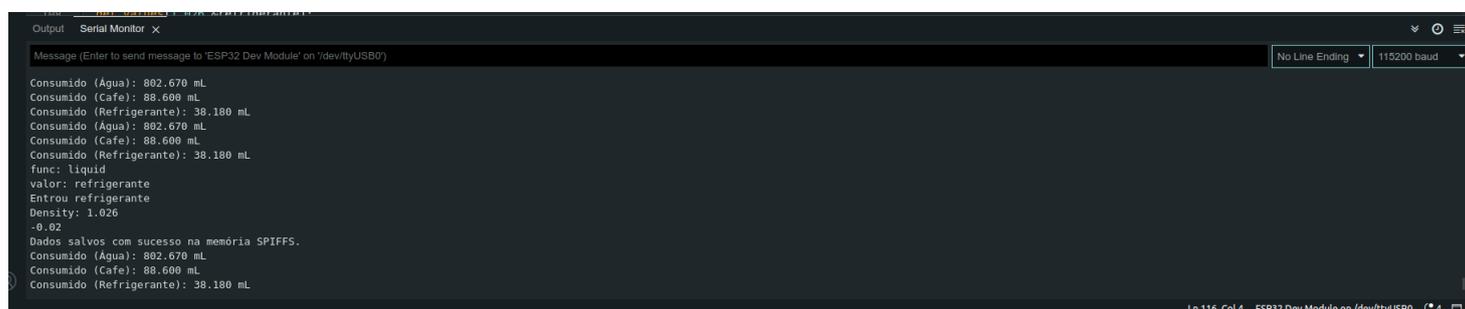


Fonte: O Autor.

## Mudança de Líquido Selecionado

Foi avaliada a capacidade do aplicativo de permitir que o usuário selecione diferentes líquidos (por exemplo, água, café, refrigerante), e enviar essa função para o porta-copos. Verificou-se se o porta-copos reconhecia e fazia a chamada das variáveis responsáveis por ajustar o valor da densidade, de acordo com o líquido escolhido. Na Figura 4.4 podemos verificar o recebimento da função de mudança de líquido para refrigerante.

**Figura 4.4:** Monitor serial exibindo a função de mudança de líquido para refrigerante.



```
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on '/dev/ttyUSB0')
Consumido (Água): 802.670 mL
Consumido (Café): 88.600 mL
Consumido (Refrigerante): 38.180 mL
Consumido (Água): 802.670 mL
Consumido (Café): 88.600 mL
Consumido (Refrigerante): 38.180 mL
func: liquid
valor: refrigerante
Entrou refrigerante
Density: 1.025
-0.02
Dados salvos com sucesso na memória SPIFFS.
Consumido (Água): 802.670 mL
Consumido (Café): 88.600 mL
Consumido (Refrigerante): 38.180 mL
Ln 116, Col 4 ESP32 Dev Module on /dev/ttyUSB0
```

Fonte: O Autor.

# Capítulo 5

## Design da Placa de Circuito

### Impresso e *Case* 3D

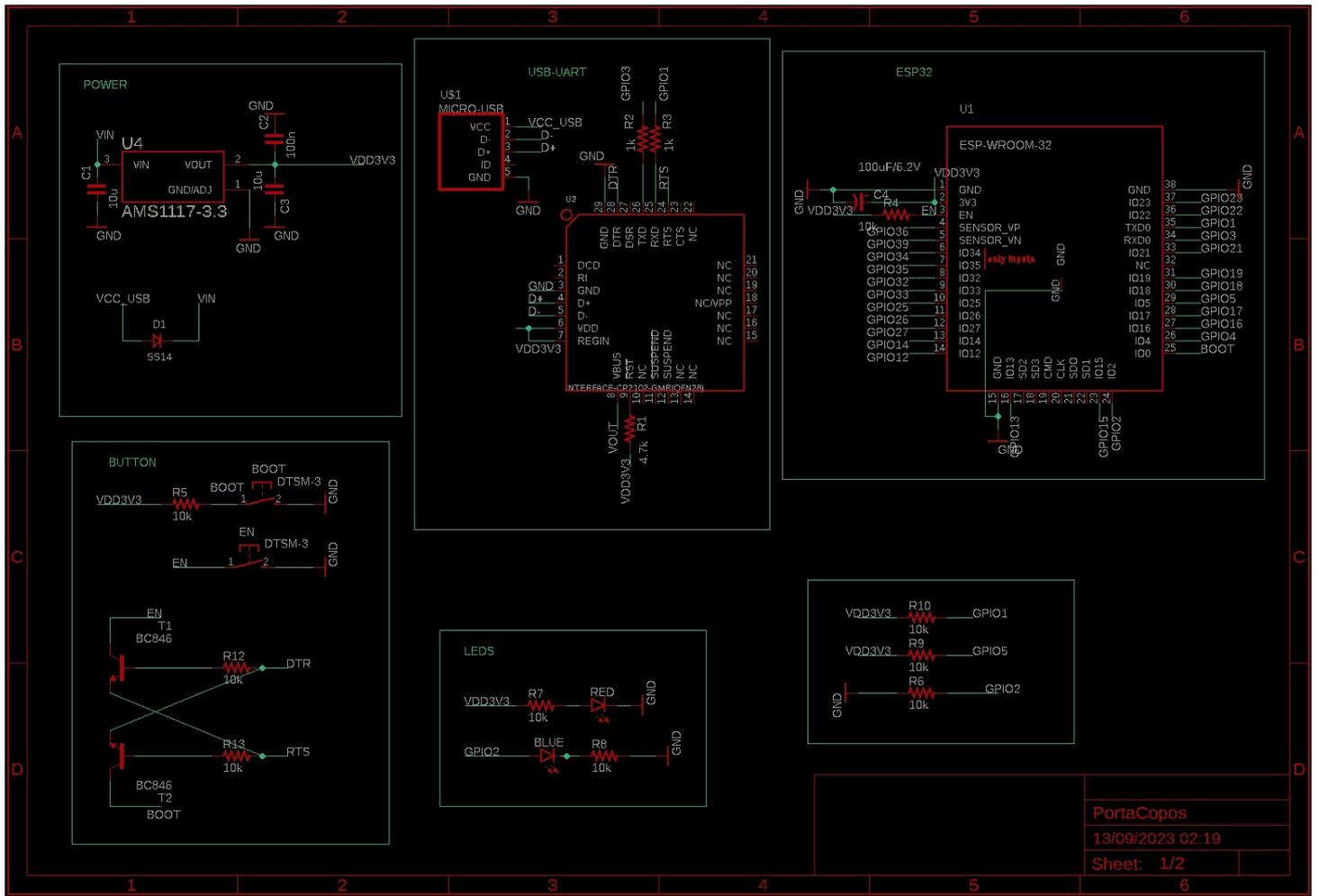
#### 5.1 Esquemático e Placa do circuito

Para o desenvolvimento deste projeto, foi utilizada a versão gratuita do *software* EAGLE CAD, que é uma aplicação de automação de design eletrônico (EDA) com recursos de captura de esquemas, *layout* de placas de circuito impresso (PCB), *auto-router* e fabricação assistida por computador (CAM). O EAGLE CAD é desenvolvido pela CadSoft Computer GmbH (Wikipedia, 2023). O circuito foi dividido em duas seções, a primeira contendo o circuito responsável pela ESP32 e a segunda o circuito do conversor amplificador HX711.

##### 5.1.1 Esquemático da ESP32

O circuito da ESP32 foi baseado no circuito do DEV KIT V2 ESP32 WROOM (Anônimo, 2021). na Figura 5.1 está o esquemático do circuito da ESP32: ela é alimentada com 5V pelo conector micro USB e, em seguida, passa por um circuito regulador que abaixa a tensão para o funcionamento da ESP32 em 3.3V. O circuito também possui botões para *reset* e *boot*, bem como LEDs indicativos de energia. O diagrama pode ser visto na Figura 5.1.

Figura 5.1: Diagrama do circuito da ESP32.



Fonte: O Autor.

### 5.1.2 Esquemático do Conversor HX711

O esquemático do HX711 foi baseado no circuito da placa de desenvolvimento utilizada neste projeto, com referência ao diagrama disponibilizado (Elecrow, 2022), e pode ser visto na Figura 5.2.



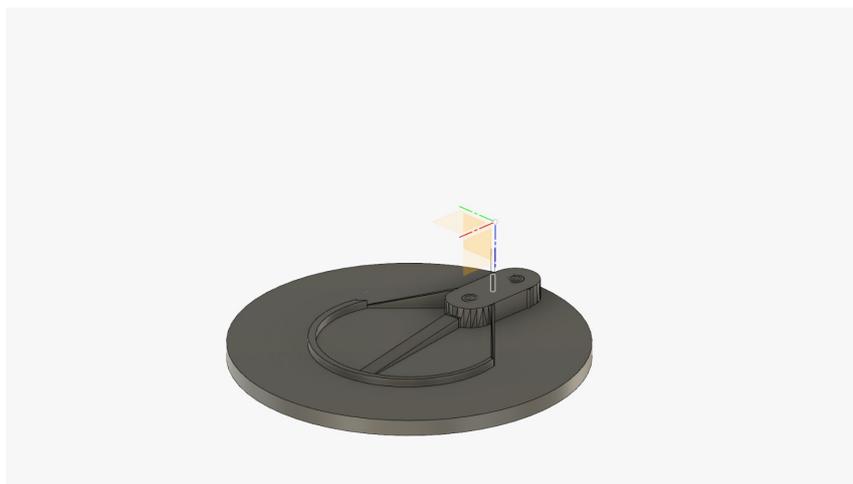


## 5.2 Construção da Case do porta-copos

Para o desenvolvimento da case foi utilizado o *software* Fusion 360 da Autodesk para o desenho e modelagem 3D, além de uma impressora de filamentos 3D para fabricação da caixa. O Fusion 360 é uma ferramenta de design CAD, CAM e CAE em 3D baseada em nuvem da Autodesk (Wikipedia, 2023). Para esse projeto foi utilizado a versão de estudante desse *software*.

Para o conceito da caixa que iria armazenar o circuito do nosso porta-copos, foram considerados dois princípios fundamentais para garantir a estabilidade do projeto. O primeiro princípio foi torná-la o mais compacta e minimalista possível, de modo a poder ser colocada sobre a mesa do escritório ou bancada sem comprometer a estética. O segundo princípio foi garantir a estabilidade da case e da sua parte superior, onde o recipiente contendo o líquido seria colocado. Isso é essencial porque qualquer instabilidade afetaria os valores medidos pela balança, resultando em leituras imprecisas. Portanto, a base superior da case foi projetada para ser estável e balanceada, permitindo que o recipiente mantenha o mesmo valor independentemente de como for colocado.

**Figura 5.5:** Modelo em 3D na superfície inferior do porta-copos.



Fonte: O Autor.

**Figura 5.6:** Modelo em 3D da superfície superior do porta-copos.



Fonte: O Autor.

**Figura 5.7:** Modelo em 3D da distribuição dos componentes dentro da case.



Fonte: O Autor.

**Figura 5.8:** Modelo 3D da case completamente montada. Fonte: o Autor.



Fonte: O Autor.

### 5.3 Impressão da case

Para a impressão da *case* do porta-copos inteligente, optou-se pelo uso de uma impressora 3D e filamento de PLA (Ácido Poliláctico). O PLA é um polímero termoplástico amplamente utilizado na impressão 3D devido às suas características únicas (Wishbox, 2015). Esse material é conhecido por ser biodegradável, tornando-o uma escolha sustentável para a fabricação da *case*.

O processo de impressão em 3D envolveu a configuração cuidadosa da impressora, incluindo parâmetros como a temperatura do bico, velocidade de impressão e resolução da camada. Essas configurações garantiram a qualidade e a precisão da *case* final. Além disso, o uso de PLA proporcionou uma boa rigidez à *case*, superando outros tipos de filamentos, como ABS ou resina, e contribuindo para a durabilidade do produto.

### 5.4 Precificação do Projeto Total

Para a simulação do custo total do projeto, foi adotada como referência a fabricação na empresa JLCPCB, conhecida por sua especialização em prototipagem de circuitos eletrônicos e sua base na China, o que resulta em custos mais competitivos em relação a outras empresas do setor. A simulação abrangeu a produção de cinco placas de circuito totalmente montadas, com a integração de todos os componentes. Essa análise de custos desempenha um papel fundamental na avaliação da viabilidade econômica do projeto. Na Figura 5.9 o valor total do pedido de 5 placas.

**Figura 5.9:** Precificação referente a 5 placas do circuito do porta-copos no site JLCPCB.

Charge Details		Total Price:	\$86.46
PCB Price	\$2.00	Weight	670.08g
Via Covering:	\$0.00	Product Description	Select
Special Offer:	\$2.00	<a href="#">SAVE TO CART</a>	
<b>Standard PCBA Price</b>		By placing your order, you agree to <a href="#">the Terms and Conditions of JLCPCB assembly Service.</a>	
Setup Fee:	\$25.00		
Stencil:	\$7.75		
Panel:	\$0.00		
Large Size:	\$0.00		
Components(21 items):	\$23.46		
Feeders Loading fee:	\$26.03		
SMT Assembly	\$1.75		
Packaging fee:	\$0.47		

Fonte: O Autor.

O custo total do projeto foi de 84,46 dólares, o que, na taxa de câmbio atual em 15/09/2023, equivale a aproximadamente R\$ 411,29, resultando em cerca de R\$ 82,25 por placa de circuito. Esse valor elevado se deve à produção de uma quantidade reduzida de placas e à disponibilidade limitada de componentes na JLCPCB. No entanto, quando analisamos apenas o custo dos componentes, totalizou-se 23,46 dólares, o que corresponde a aproximadamente R\$ 109,71 em componentes, ou seja, cerca de R\$ 21,94 reais por placa somente em componentes, ao adicionar o custo de 2 dólares para fabricação das placas de circuito. Isso resulta em um custo total de R\$ 23,88 por placa completa.

Além disso, para uma estimativa precisa, é importante considerar o custo da célula de carga, que pode ser encontrada por cerca de R\$ 7,00 no site Aliexpress. Portanto, o custo total do projeto seria de aproximadamente R\$ 30,88 por porta-copos, excluindo as taxas relacionadas ao uso das instalações da JLCPCB, como mencionado anteriormente e valores de fretes e impostos de importação.

# Capítulo 6

## Considerações Finais

### 6.1 Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado o desenvolvimento de um porta-copos inteligente, responsável por monitorar a ingestão de líquidos e conectado a um aplicativo para exibir esses dados. Ao longo do projeto, foram explorados diversos aspectos de criação de produto, desde o design de *hardware* e da *case* até a implementação do *software* e a criação do aplicativo, com o objetivo de criar um dispositivo capaz de fornecer informações úteis sobre os hábitos de ingestão de líquidos dos usuários.

Durante todo o projeto, foram utilizadas uma variedade de tecnologias e ferramentas para a integração entre sensor, microcontrolador e aplicativo móvel. A utilização de *softwares* especializados para desenvolvimento de diagramas de circuitos e design de PCBs permitiu a criação de um produto totalmente personalizado e adaptado às necessidades do projeto, assim como permite a adição de novas funcionalidades e conexões.

O porta-copos demonstrou ser eficaz na medição da ingestão de líquidos, apresentando uma média de erro muito baixa ao longo dos testes realizados no projeto. Essa estabilidade nas medições sugere que o projeto é viável e promissor quando consideramos sua implementação no contexto da Internet das Coisas.

Em resumo, este projeto representa um exemplo de como dispositivos IoT podem ser utilizados para melhorar a qualidade de vida, fornecendo informações valiosas

sobre hábitos que podem ter impacto sobre diversos aspectos, como saúde e bem-estar.

## 6.2 Dificuldades Encontradas

Durante o desenvolvimento deste projeto, algumas dificuldades foram encontradas e impactaram seu progresso. Algumas delas incluem:

- Estabilidade da *case*: Uma das dificuldades foi alcançar a estabilidade e robustez desejadas na *case* do porta-copos. O uso do filamento PLA na impressão 3D resultou em uma *case* que, ao longo do tempo e com o peso do recipiente, apresentou certa flexibilidade, afetando as medições da célula de carga. Isso resultou em valores inconsistentes ao longo do tempo, prejudicando a precisão das medições;
- Problemas de conexão: Outra dificuldade enfrentada foi o mau contato nas conexões entre a ESP32, o módulo HX711 e a célula de carga. Durante a prototipagem, os *jumpers* de conexão não forneceram uma conexão estável e qualquer movimento ou torção nesses *jumpers* resultava em leituras inconsistentes na ESP32. Isso tornou a calibração do sistema e os testes em diferentes locais desafiadores, pois o transporte do protótipo resultava na perda da calibração.

Essas dificuldades foram identificadas durante o desenvolvimento do projeto e representam desafios a serem superados em trabalhos futuros para melhorar a estabilidade da *case* e a confiabilidade das conexões, visando obter medições precisas e consistentes.

## 6.3 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se realizar as seguintes melhorias no projeto:

- Desenvolver uma *case* mais robusta, utilizando um plástico mais resistente a torções, semelhante ao utilizado em balanças convencionais. Isso proporcionará maior estabilidade e durabilidade ao porta-copos;
- Refinar o design da *case* para distribuir de forma mais uniforme o peso do recipiente, a fim de evitar leituras incorretas na balança. Isso pode envolver ajustes na geometria da base ou no posicionamento da célula de carga;
- Investigar a possibilidade de fabricar uma PCB personalizada que integre a *case*, a ESP32 e o módulo HX711. Soldar esses componentes diretamente na placa reduzirá o número de conexões e ajudará a evitar problemas de mau contato. Além disso, permitirá tornar o porta-copos mais compacto e robusto;
- Desenvolver um aplicativo dedicado ao porta-copos, utilizando linguagens de programação adequadas para essa finalidade, criando uma interface amigável e intuitiva para o usuário, com recursos como login e senha;
- Desenvolver uma proteção eficaz contra gotículas de água, aumentando a resistência do produto à exposição à umidade. Essa melhoria é especialmente importante, considerando que o produto será utilizado em ambientes que envolvem líquidos.
- Integrar um circuito para a inserção de uma bateria, permitindo que o dispositivo funcione de forma independente, sem a necessidade de alimentação direta por cabo.

Essas melhorias contribuirão para aprimorar a funcionalidade e a qualidade do porta-copos, tornando-o mais adequado para uso em diversas situações.

## Referências

- Abdulmalek, S., Nasir, A., Jabbar, W. A., Almuahaya, M. A., Bairagi, A. K., Khan, M. A.-M., e Kee, S.-H. (2022). Iot-based healthcare-monitoring system towards improving quality of life: A review. In *Healthcare*, volume 10, página 1993. MDPI. Acesso em: 08/07/2023.
- Anônimo (2021). Esp32-devkit-v2. [https://easyeda.com/modules/ESP32-DEVKIT-V2\\_0a71a29f44fa4c908d5429237adfd884](https://easyeda.com/modules/ESP32-DEVKIT-V2_0a71a29f44fa4c908d5429237adfd884). Acesso em: 25/07/2023.
- Ashton, K. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*. Acesso em: 07/07/2023.
- Circuit Schools (2022). Weighing scale using load cell and hx711 amplifier with arduino. <https://www.circuitschools.com/weighing-scale-using-load-cell-and-hx711-amplifier-with-arduino/>. Acesso em: 20/07/2023.
- Cisco (2020). Cisco annual internet report (2018–2023) white paper. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>. Acesso em: 11/07/2023.
- Elecrow (2022). Weight sensor amplifier-hx711. [https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=Weight\\_Sensor\\_Amplifier-HX711](https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=Weight_Sensor_Amplifier-HX711). Acesso em: 21/07/2023.
- ESPRESSIF (2017). arduino-esp32 spiiffs library. <https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/SPIFFS>. Acesso em: 29/07/2023.
- ESPRESSIF (2018). Bluetooth serial library. <https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/BluetoothSerial>. Acesso em: 29/07/2023.

Espressif Systems (2017). The internet of things with esp32.

<http://esp32.net/>. Acesso em: 20/07/2023.

Ferreira, A. (2021). Princípios básicos da extensometria – parte 2. <https://kotengenharia.com.br/principios-basicos-da-extensometria-parte-2/>.

Acesso em: 09/07/2023.

Havard (2016). Coke can buoyancy. <https://sciencedemonstrations.fas.harvard.edu/presentations/coke-can-buoyancy>. Acesso em: 10/07/2023.

Kenshima, G. (2021). Diferenças entre microcontrolador e microprocessador. <https://www.makerhero.com/blog/diferencas-entre-microcontrolador-e-microprocessador/>.

Acesso em: 07/07/2023.

Khomyakov, A. P., Mordanov, S. V., e Khomyakova, T. V. (2020). The experimental data on the density, viscosity, and boiling temperature of the coffee extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548(2):022040. Acesso em: 15/07/2023.

Lahari, J. L. (2021). Iot based smart water bottle. Acesso em: 09/07/2023.

Lutkevich, B. (2019). microcontroller (mcu).

<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcontroller>.

Acesso em: 09/07/2023.

Marchant, N. (2021). What is the internet of things? <https://www.weforum.org/stories/2021/03/what-is-the-internet-of-things/>.

Acesso em: 07/07/2023.

Renzo Mischianti (2021). Doit esp32 dev kit v1: high resolution pinout and specs. <https://mischianti.org/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/>.

Acesso em: 09/07/2023.

RobTillaart (2021). Hx711 library by:robtillaart hx711.

<https://github.com/RobTillaart/HX711>. Acesso em: 29/07/2023.

Sanar, C. (2020). Internet

das coisas e big data na saúde: o que você precisa saber? <https://sanarmed.com/internet-das-coisas-e-big-data-na-saude-o-que-voce-precisa-saber-colunistas/>.

Acesso em: 09/07/2023.

Santos, S. (2022). Arduino with load cell and hx711 amplifier (digital scale). <https://randomnerdtutorials.com/arduino-load-cell-hx711/>. Acesso em : 06/07/2023.

Souza, F. (2022). O que são sistemas embarcados? <https://embarcados.com.br/o-que-sao-sistemas-embarcados/>. Acesso em: 09/07/2023.

SPARKFUN (2016). Hx711 datasheet sparkfun electronics. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1371088/SPARKFUN/HX711.html>. Acesso em: 07/07/2023.

Wikipedia (2018). Ponte de wheatstone — wikipédia, a enciclopédia livre. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Ponte\\_de\\_Wheatstone&oldid=53594476](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Ponte_de_Wheatstone&oldid=53594476). Acesso em: 07/07/2023.

Wikipedia (2022). Arduino ide — wikipédia, a enciclopédia livre. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino\\_IDE&oldid=64947987](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino_IDE&oldid=64947987). Acesso em: 18/07/2023.

Wikipedia (2023). App inventor — wikipédia, a enciclopédia livre. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=App\\_Inventor&oldid=66080056](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=App_Inventor&oldid=66080056). Acesso em: 10/08/2023.

Wikipedia (2023). Arduino — wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino&oldid=66500254>. Acesso em: 18/07/2023.

Wikipedia (2023). Density — wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Density&oldid=1155758720>. Acesso em: 10/07/2023.

Wikipedia (2023). Eagle (program) — wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=EAGLE\\_\(program\)&oldid=1168101941](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=EAGLE_(program)&oldid=1168101941). Acesso em: 07/09/2023.

Wikipedia (2023). Fusion 360 — wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fusion\\_360&oldid=1158002916](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fusion_360&oldid=1158002916). Acesso em: 14/08/2023.

Wikipedia (2023). Piezoresistive effect — wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Piezoresistive\\_effect&oldid=1151927534](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Piezoresistive_effect&oldid=1151927534). Acesso em: 27/07/2023.

Wikipedia (2023). Properties of water — wikipedia, the free encyclopedia.  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Properties\\_of\\_water&oldid=1152860561](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Properties_of_water&oldid=1152860561). Acesso em: 07/08/2023.

Wishbox, R. (2015). Filamento pla: O que É, vantagens e como imprimir em 3d.  
<https://www.wishbox.net.br/blog/pla/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20PLA%3F,ou%20cana%2Dde%2Da%C3%A7%C3%BAcar.>  
Acesso em: 20/08/2023.

Wokwi (2023). Load cell. <https://wokwi.com/projects/376345342186724353>.  
Acesso em: 02/08/2023.

# Apêndice A

## Apêndices

### A.1 Repositório github

[https://github.com/eduardoalexandree/Porta\\_Copos](https://github.com/eduardoalexandree/Porta_Copos)

### A.2 Vídeo de demonstração

[https://youtu.be/hBnWYb\\_9Io?si=gExxiPupS5crqeik](https://youtu.be/hBnWYb_9Io?si=gExxiPupS5crqeik)