



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM MODELAGEM  
COMPUTACIONAL DE SISTEMAS  
*CAMPUS* UNIVERSITÁRIO DE PALMAS-TO

**FABIANO MEDEIROS TAVARES**

**MODELAGEM DE UM SISTEMA AFERIDOR DE GASTO DE  
ÁGUA E ELETRICIDADE PARA CHUVEIROS ELÉTRICOS  
CONVENCIONAIS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS**

Palmas-TO  
AGOSTO / 2022

**FABIANO MEDEIROS TAVARES**

**MODELAGEM DE UM SISTEMA AFERIDOR DE GASTO DE  
ÁGUA E ELETRICIDADE PARA CHUVEIROS ELÉTRICOS  
CONVENCIONAIS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Modelagem Computacional de Sistemas da Universidade Federal do Tocantins como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas (PPGMCS/UFT).

Orientador: Prof. Dr. Humberto Xavier de Araújo

Palmas-TO  
Agosto / 2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

---

- M488m Medeiros Tavares, Fabiano.  
MODELAGEM DE UM SISTEMA AFERIDOR DE GASTO DE  
ÁGUA E ELETRICIDADE PARA CHUVEIROS ELÉTRICOS  
CONVENCIONAIS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS. /  
Fabiano Medeiros Tavares. – Palmas, TO, 2022.  
68 f.
- Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do  
Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-  
Graduação (Mestrado Profissional) em Governança e Transformação  
Digital - PPGTD, 2022.
- Orientador: Humberto Xavier de Araújo
1. Internet das Coisas. 2. Economia de Energia Doméstica. 3.  
Chuveiro. 4. Aplicativo. I. Título

CDD 004

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de  
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que  
citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime  
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha  
catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

# FOLHA DE APROVAÇÃO

FABIANO MEDEIROS TAVARES

## MODELAGEM DE UM SISTEMA AFERIDOR DE GASTO DE ÁGUA E ELETRICIDADE PARA CHUVEIROS ELÉTRICOS CONVENCIONAIS BASEADO EM INTERNET DAS COISAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Modelagem Computacional de Sistemas da Universidade Federal do Tocantins para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora

Data de aprovação 30/09/2022

Banca Examinadora

**HUMBERTO XAVIER DE ARAUJO:79656668200**  
Assinado digitalmente por HUMBERTO XAVIER DE ARAUJO:79656668200  
ND: CN=BR, O=ICP-Brasil, OU=AC CERTIFICA MINAS V5, OU=34746086000147, OU=Presencial, OU=Certificado PF A1, CN=HUMBERTO XAVIER DE ARAUJO:79656668200  
Razão: Eu sou o autor deste documento  
Localização:  
Data: 2022.09.30 16:10:06-03'00'  
Foxit PDF Reader Versão: 12.0.1

---

Prof. Dr. Humberto Xavier de Araujo, UFT

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ADELICIO MAXIMIANO SOBRINHO  
Data: 30/09/2022 16:06:49-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Adélcio Maximiano Sobrinho, Avaliador Externo

**DAVID NADLER PRATA:3301379915399153**  
Assinado de forma digital por DAVID NADLER PRATA:33013799153  
Dados: 2022.09.30 18:56:22 -03'00'

---

Prof. Dr. David Nadler Prata, UFT

## **Agradecimentos**

A Deus pela vida, saúde e pelo seu dom de criação outorgado a mim. A minha querida esposa Aline pela serenidade e tolerância às minhas noites em claro. Aos meus pais Dalson e Tereza, sogros, Neto e Ceíça que sempre trouxeram em seus abraços calorosos a graça de serem meu porto seguro. Aos meus amigos, que muitas vezes abdicaram de minha companhia em prol deste tão penoso trabalho. Sou grato em especial ao meu amigo Wilmar Borges Leal Júnior, através do qual muitas portas se abriram a mim durante esta caminhada acadêmica. Ao meu orientador, Professor Dr. Humberto Xavier de Araújo, pela paciência e por sua generosidade em compartilhar a mim o seu precioso tempo e conhecimento.

*Dedico à Rafaela este labor,  
a minha maior e mais perfeita invenção!*

*“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos  
que tenha como fim último, melhorar a humanidade”.*

*Nikola Tesla*

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação prática de um sistema de automação para aferição de gasto de água e eletricidade para chuveiros elétricos convencionais utilizando o conceito de internet das coisas – IoT. O sistema tem o propósito de coletar, armazenar e apresentar dados em tempo real a respeito do consumo de água e energia de um chuveiro convencional possibilitando tomada de decisão pelo consumidor através da análise dos dados obtidos. O paradigma IoT apresenta um desenvolvimento que permite integrar sensores de baixo custo a sistemas embarcados, criando assim um agrupamento de objetos físicos interconectados, incorporados à eletrônica, *software*, sensores e conectividade de rede. Esta implementação tem como objetivo analisar a viabilidade no desenvolvimento de um sistema de baixo custo para monitoramento do consumo de água e eletricidade, podendo ser utilizado tanto em ambiente residencial como em escala comercial. Em síntese, a aplicação inicial foi realizada em sistema doméstico, dessa forma, pode-se testar o sistema integrado de monitoramento e apoio a decisão, verificando a viabilidade do uso para suporte ao pesquisador na obtenção automática dos dados, contribuindo de modo significativo na tomada de decisão.

**Palavras-chaves:** Internet das Coisas, Consumo Elétrico e Hidráulico, Automação.

## ABSTRACT

This work presents the development and practical application of an automation system for measuring water and electricity expenditure for conventional electric showers, using the concept of internet of things - IoT. The system has the purpose of collecting, storing and presenting data in real time regarding the water and energy consumption of a conventional shower, enabling decision making through data analysis. This new development paradigm allows us to integrate low-cost sensors into embedded systems, thus creating a grouping of interconnected physical objects, incorporated into electronics, software, sensors and network connectivity. This implementation aims to analyze the feasibility of developing a low-cost system for monitoring water and electricity consumption, which can be used both on a residential and commercial scale. In summary, the initial application will be carried out in a domestic system, thus, it is possible to test the integrated monitoring and decision support system, verifying the feasibility of using it to support the researcher in automatic data collection and analysis, contributing significantly. for collection and decision making.

**Keywords:** *Internet of Things, Electric and Hydraulic Consumption, Automation.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Dispositivos conectados por pessoa .....	20
Figura 2: Modelo baseado em componentes e suas fases .....	22
Figura 3: Chuveiro Lorenzetti Maxi Ducha.....	24
Figura 4: DO IT DevKit v1.....	25
Figura 5: Válvula de passagem de água.....	26
Figura 6: Arduino Nano .....	27
Figura 7: Sensor de fluxo hidráulico YF-S201 .....	28
Figura 8: Especificações técnicas YF-S201 .....	28
Figura 9: Sensor de corrente elétrica intrusivo .....	29
Figura 10: Arandela 200x90x130(mm).....	29
Figura 11: Módulo leitor/gravador de RFID e chaveiro RFID .....	30
Figura 12: Wemos Lolin32 Lite.....	31
Figura 13: Bateria Pineng 5000mAh PN-905 .....	32
Figura 14: : Caixa hermética padrão 124x85x53(mm) .....	33
Figura 15: Teste de bancada aferição de corrente.....	34
Figura 16: Circuito Level Shifter ou corretor de nível .....	35
Figura 17: Teste de aferição de corrente utilizando level shifter .....	36
Figura 18: Comunicação entre os componentes de aferição.....	37
Figura 19: Sistema de aferição de água e eletricidade .....	38
Figura 20: Dados aferidos após finalização do “banho” .....	39
Figura 21: Montagem do segmento hidráulico .....	39
Figura 22: Elementos do sistema central incorporados à base do compartimento.....	41
Figura 23: Prototipação básica dos elementos do sistema central .....	41
Figura 24: Base externa do compartimento central .....	42
Figura 25: Prototipação digital do sistema de autenticação .....	42
Figura 26: Circuito físico do sistema de autenticação .....	43
Figura 27: Visão da lateral direita do compartimento de autenticação com a tampa traseira aberta .....	43
Figura 28: Visão sem a tampa traseira do compartimento de autenticação .....	44
Figura 29: Visão frontal do compartimento de autenticação .....	44
Figura 30: Visão traseira do compartimento de autenticação com a tampa fechada .....	45
Figura 31: Fluxograma do Sistema.....	45
Figura 32: Diagrama de Atividades do Sistema .....	47

Figura 33: Ambiente em nuvem do Google Firebase .....	48
Figura 34: IDE do Arduino - Gerenciador de bibliotecas .....	49
Figura 35: Parâmetros de conexão com a WiFi .....	51
Figura 36: Controle de saída de água.....	51
Figura 37: Informa término de banho e solicita dados de consumo aos aferidores .....	52
Figura 38: Envio de dados de consumo ao banco de dados.....	52
Figura 39: Parâmetros para cálculo de consumo elétrico.....	53
Figura 40: Aferição de corrente elétrica (parte 1).....	53
Figura 41: Aferição de corrente elétrica (parte 2).....	54
Figura 42: Cálculo do consumo elétrico baseado no tempo e potência (parte 1) .....	55
Figura 43: Cálculo do consumo elétrico baseado no tempo e potência (parte 2) .....	55
Figura 44: Resposta à central com os dados obtidos após a finalização do banho .....	55
Figura 45: Parâmetros para cálculo do consumo hidráulico .....	56
Figura 46: Aferição do fluxo hidráulico .....	57
Figura 47: Resposta à central após a finalização do banho.....	57
Figura 48: Parâmetros de conexão com a WiFi .....	58
Figura 49: Leitura da tag RFID (parte 1).....	59
Figura 50: Leitura da tag RFID (parte 2).....	59
Figura 51: Leitura da tag RFID (parte 3).....	59
Figura 52: Registro de novo usuário.....	60
Figura 53: Autenticação no sistema (parte 1) .....	60
Figura 54: Autenticação no sistema (parte 2) .....	61
Figura 55: Sistema montado em ambiente doméstico (Detalhe do chuveiro) .....	62
Figura 56: Sistema montado em ambiente doméstico (Detalhe do painel).....	62
Figura 57: Programação e testes do sistema .....	63
Figura 58: APP para iPhone – Tela de autenticação .....	63
Figura 59: APP para iPhone – Tela de autenticação .....	64
Figura 60: Tela de cadastro de Tag.....	65

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados técnicos do chuveiro utilizado. ....	24
Quadro 2: Dados técnicos do microcontrolador utilizado.....	25
Quadro 3: Especificações técnicas da válvula .....	26
Quadro 4: Especificações técnicas do Arduino Nano .....	27
Quadro 5: Sensor de corrente elétrica intrusivo .....	29
Quadro 6: Especificações técnicas do módulo RC522. ....	31
Quadro 7: Dados técnicos do microcontrolador utilizado.....	31
Quadro 8: Características de leitura do sensor ACS712/30 .....	34
Quadro 9: Bibliotecas aplicadas na programação .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Testes de aferição elétrica .....	37
Tabela 2: Custo do protótipo.....	61

## LISTA DE ABREVIACÕES

- 5G – Tecnologia contemporânea de transmissão de dados celulares de alta velocidade
- AC – Corrente alternada
- APP – Aplicação para *smartphones*
- ATMEGA328 – Microcontrolador 10bits normalmente utilizado nas placas Arduino
- CLOCK – Pulso de relógio do microcontrolador
- DC – Corrente contínua
- DEC – Base de cálculo decimal
- DIY – *Do It Yourself* – Faça você mesmo
- ESP32 – Microcontrolador 12bits multitarefa
- GHZ – Giga Hertz – 1.000.000.000Hz
- GND – Filtro graduado de de densidade neutra – *Ground* / Terra
- HIGH – Unidade lógica de estado alto - LIGADO
- HTTP – *Hipertext Transfer Protocol* – Protocolo de Transferência de Hipertexto
- I2C – Protocolo de circuitos interconectados
- IBSG – *Internet Busines Solutions Group* – Cisco Systems
- IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
- IOT – Internet das Coisas
- IP24 - grau de proteção de produtos eletrônicos fornecidos contra a entrada de poeira e água
- JST – *Japan Solderless Terminal* – Terminal sem solda
- kPa – Quilo Pascal – Unidade de medida de pressão hidráulica
- KWh – Quilo Watt Hora – Unidade de medida de consumo de eletricidade
- LED – *Light Emitter Diode* – Diodo emissor de luz
- LIPO – Bateria de Ions de Lítio
- LOW - Unidade lógica de estado baixo - DESLIGADO
- mAh – Miliampére hora – Unidade de medida de autonomia energética
- MHZ – Mega Hertz – 1.000.000Hz
- N/F – Normalmente Fechado
- NBR5410 – Norma de estabelecimento das condições em instalações de baixa tensão
- PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
- PVC – Polímero plástico sintético de policloreto de vinila
- RFID – Identificador de rádio-frequência

SPI – *Serial Peripheral Interface* - Protocolo de comunicação de dados seriais

Tag – Etiqueta que possui informações a respeito de algum objeto ou entidade

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

UART – Protocolo Transmissor e Receptor Assíncrono Universal

UML – Linguagem de Modelagem de Dados Unificada

USB – *Universal Serial Bus* – Porta Serial Universal

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>16</b>
Introdução .....	16
1.2 Delimitação do escopo.....	16
1.3 Justificativa .....	17
1.4 Objetivo geral .....	18
1.5 Objetivos específicos .....	18
1.6 Organização da dissertação .....	18
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>19</b>
2.1 Referencial Teórico.....	19
2.2 A ascensão da Internet das Coisas .....	20
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>21</b>
3.1 Metodologia .....	21
3.2 Características da Pesquisa .....	21
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>23</b>
4.1 Especificações do sistema.....	23
4.2 Caracterização dos componentes utilizados.....	23
4.3 Chuveiro elétrico.....	23
4.4 Sistema computacional central .....	24
4.5 ESP32 – <i>DoIt DevKit</i> v1 .....	25
4.6 Válvula de passagem de água .....	26
4.7 Sistema computacional de consumo hidráulico .....	26
4.8 Arduino Nano.....	27
4.9 Sensor de fluxo hidráulico YF-S201.....	27
4.10 Sistema computacional de consumo elétrico .....	28
4.11 Compartimento do sistema computacional central .....	29
4.12 Sistema de autenticação .....	30
4.13 Módulo RC-522 - RFID (Radio Frequency Identification) .....	30

4.14 Microcontrolador WEMOS LOLIN <i>Lite</i> .....	31
4.15 Sistema de alimentação do painel de autenticação.....	32
4.16 Compartimento do sistema de autenticação .....	32
4.17 Montagem e testes de bancada.....	33
4.18 Montagem do aferidor de consumo elétrico .....	33
4.19 Montagem do aferidor de consumo hidráulico .....	37
4.20 Montagem do conjunto hidráulico .....	39
4.21 Incorporação dos elementos do sistema central.....	40
4.22 Montagem do sistema de autenticação.....	42
4.23 Visão geral do sistema .....	45
4.24 Diagrama de Atividades.....	46
4.25 Persistência de Dados .....	47
4.26 Programação do sistema .....	48
4.27 Ambiente de programação para os microcontroladores .....	49
4.28 Programação dos microcontroladores .....	50
4.29 Codificação do sistema central .....	50
4.30 Código do sistema central.....	51
4.31 Código do aferidor de eletricidade.....	53
4.32 Código do aferidor de água.....	56
4.33 Codificação do sistema de autenticação.....	58
4.34 Código do sistema de autenticação .....	58
4.35 Custo do protótipo.....	61
4.36 Protótipo.....	62
4.37 Conclusões .....	66
4.38 Trabalhos futuros .....	67

# CAPÍTULO I

## Introdução

A preocupação com a otimização no uso de recursos naturais é uma problemática antiga e que possui grande ascensão nos tempos atuais devido à sua crescente escassez. E dentro do cotidiano social, o banho, apesar de básico e fundamental, torna-se motivo de grande receio econômico, trazendo à tona um parceiro que pode se tornar grande vilão na relação de higiene e saúde do ser humano, a saber, o chuveiro elétrico.

O trabalho em questão sugere um mecanismo eletrônico baseado em sistemas embarcados, com versatilidade universal, de baixo custo, capaz de aferir e armazenar em tempo real a quantidade de água e eletricidade consumida por um chuveiro durante um banho em uma base de dados localizada na Internet, com a possibilidade de identificar individualmente o usuário vinculando a ele dados a respeito de seu consumo, diretamente em razão monetária, de água e energia elétrica.

Sistemas embarcados com conectividade à Internet têm se tornado cada dia mais comuns nas produções científicas. Devido ao seu baixo custo-benefício e a grande diversidade de aferidores ao dispor do mercado, esses sistemas estão em crescente demanda por parte de pesquisadores e entusiastas das tecnologias relacionadas. Com efeito, todo esse conjunto de *hardware* e *software* recebeu a denominação de internet das coisas, ou IoT (*Internet of Things*), como é popularmente conhecido.

As possibilidades de monitoramento remoto automático através de sensores eletrônicos já se tornaram realidade e as vantagens da utilização de sistemas interconectados são incontáveis, desde o baixo custo até a automação de processos. Além disso, as redes de comunicação têm se voltado para uma grande convergência de tecnologias a ponto de dar conectividade em alta velocidade a todo e qualquer sistema embarcado com possibilidade de conexão sem fio à Internet. Considera-se, ainda, um grande potencializador desta evolução, a recém chegada tecnologia de comunicação em alta velocidade de dados 5G<sup>1</sup>.

### 1.2 Delimitação do escopo

Esta produção de pesquisa delimita-se no desenvolvimento de um protótipo de sistema para aferição, análise e armazenamento de dados a respeito do consumo de água e eletricidade com

---

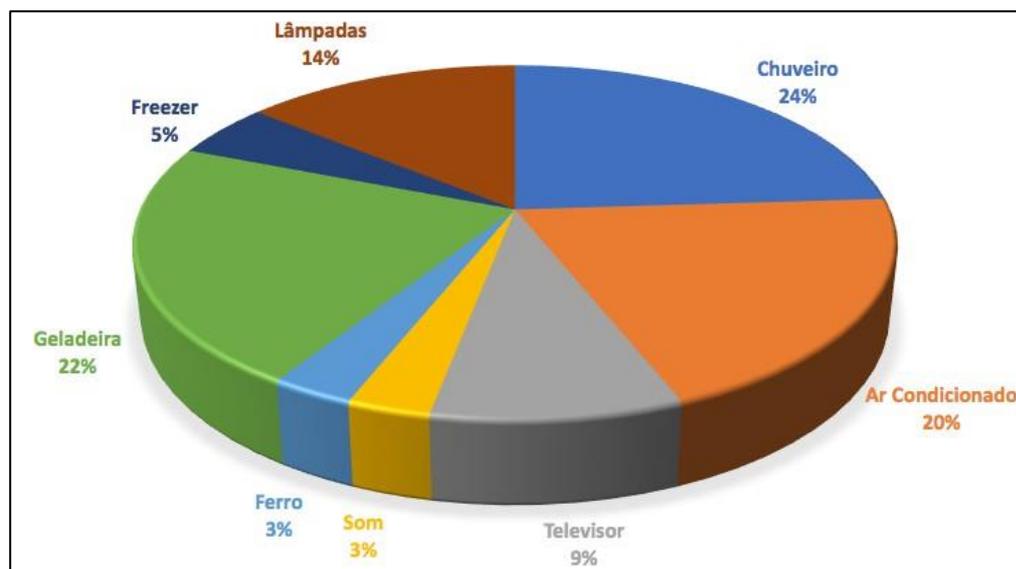
<sup>1</sup> 5G é a quinta geração das redes móveis. Com grande evolução em relação à rede 4G. A rede 5G vem sendo desenvolvida para comportar o crescente volume de informações trocado diariamente por bilhões de dispositivos sem fio espalhados mundialmente

aplicação inicial em chuveiros domésticos convencionais. O público alvo deste trabalho são pesquisadores, consumidores e empresas que necessitem monitorar individualmente o custo dos chuveiros elétricos, por usuário, tanto para pesquisa comportamental quanto para contingenciamento de gastos com água e eletricidade.

### 1.3 Justificativa

Relativamente ao gasto doméstico, o chuveiro elétrico é indubitavelmente o maior inimigo do consumidor. E como característica potencializadora intrínseca de sua natureza consumir não somente água, mas também energia elétrica, irrompe-se a conveniência de normatizar seu uso de maneira consciente, mediante à grande necessidade de conservação hídrica e economia de eletricidade demandada nos últimos tempos. Como exemplo factível a respeito de seu consumo, um banho com chuveiro elétrico durante 15 minutos pode-se consumir até 45 litros de água (Sabesp, 2021). E a respeito do consumo de eletricidade, o gráfico 1 representa o seu consumo em detrimento a outros eletrodomésticos comuns.

Gráfico 1: Eletrodomésticos e médias de consumo.



Fonte: Adaptado de PROCEL (2005)

Existem inúmeros dispositivos eletrônicos desenvolvidos para aferimento de consumo de água e eletricidade. E em referência à viabilidade deste trabalho, levando em conta o gasto para desenvolvimento do protótipo proposto, considera-se a popularização, facilidade de programação e os custos acessíveis dos sistemas embarcados, esses, podem ser projetados para favorecer a aferição e análise de dados de maneira automatizada, por meio de sensores eletrônicos facilmente encontrados no mercado.

Outro aspecto importante a ser frisado é a utilização de conectividade sem fio, deveras grande divisor de águas para sistemas como o apresentado neste trabalho, principalmente para implantação em ambientes prediais que não possuam estrutura de comunicação como sistemas de cabeamento estruturado. E a respeito das áreas onde são alocados os dispositivos como chuveiros elétricos, a existência de estruturas para comunicação de dados de maneira cabeada, mesmo em locais com mais alto padrão de luxo e requinte, seriam uma possibilidade bastante incomum.

#### 1.4 Objetivo geral

Desenvolver um sistema sem fios, de baixo custo, utilizando sistemas embarcados, para aferição individual de gasto de água e energia elétrica consumidas por usuários de chuveiros elétricos convencionais.

#### 1.5 Objetivos específicos

Desenvolvimento de um protótipo controlador de chuveiro elétrico, contendo funcionalidades para comando de fluxo hidráulico, aferidor de consumo de água e eletricidade;

Desenvolvimento de um painel de autenticação, capaz de identificar individualmente cada usuário do chuveiro;

Implementação de uma aplicação apta de ser operada em dispositivos móveis que disponibilize todas as informações a respeito do banho dos usuários do chuveiro.

#### 1.6 Organização da dissertação

Esta produção está organizada em 5 capítulos convergentes como é apresentada nas breves descrições a seguir.

**Capítulo I** - expõe a introdução, sendo apresentada através de uma explanação a respeito da conjuntura do tema proposto e sua aplicabilidade, e em seguida foram definidos os objetivos gerais e específicos a serem alcançados com aplicação do sistema. **Capítulo II** – referencia e analisa trabalhos publicados na literatura com intuito de subsidiar o trabalho proposto. **Capítulo III** – trata acerca da metodologia empregada na composição deste trabalho, partindo da pesquisa até o desenvolvimento do protótipo. **Capítulo IV** – apresenta os resultados da pesquisa, com testes realizados com o equipamento desenvolvido. **Capítulo V** – é apresentado uma conclusão acerca da proposta, onde estão descritos os resultados alcançados e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO II

### 2.1 Referencial Teórico

Em um artigo datado de 1991 publicado na revista *Scientific American*, Mark Weiser, discute a evolução da ubiquidade e interconectividade dos recursos computacionais modernos, recursos estes denominados pelo autor de “coisas”, às quais se refere da seguinte maneira: Elementos especializados de *hardware* e *software*, conectados por fios, ondas de rádio ou infravermelho, em breve serão tão onipresentes que ninguém notará sua presença (Weiser, 2002). O pressentimento do autor citado se referiria à era atual, vinculada ao advento da Internet das Coisas, (*Internet of Things - IoT*).

A popularidade do termo Internet das Coisas e seu conceito tem arrebatado de maneira estrondosa as discussões nas áreas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Segundo o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos - IEEE, a terminologia “*Internet of Things*” arremete à uma tecnologia formada em uma rede complexa, adaptável e autoconfigurável, que interconecta “coisas” à internet utilizando os protocolos de comunicação pré-existentes. Estas coisas possuem concepção física e/ou virtual do ambiente digital, têm capacidades de detecção e atuação com recursos identificáveis contendo informações relevantes que incluem suas identidades, características, status, localização e até mesmo informações comerciais, públicas ou privadas. (Minerva, Biru e Rotondi, 2015, p. 73).

Objetos IoT oferecem a possibilidade de execução de serviços autônomos ou mediados, explorando singular identificação, coleta de dados e desempenho de tarefas. Dispositivos com interfaces inteligentes são capazes de acessar todos estes recursos de qualquer ambiente e em qualquer período de tempo, Minerva, Biru e Rotondi, (2015). De maneira geral, Internet das Coisas pode ser abarcada como uma rede de coisas conectadas através da Internet, podendo ser objetos físicos ou virtualizados, oferecendo fluxo de dados, em ambos os sentidos, que podem ser tratados originando informações de ponta a ponta. *IoT* traz uma nova tendência de mercado, uma nova era, aperfeiçoando as metodologias, reduzindo custos operacionais e erros.

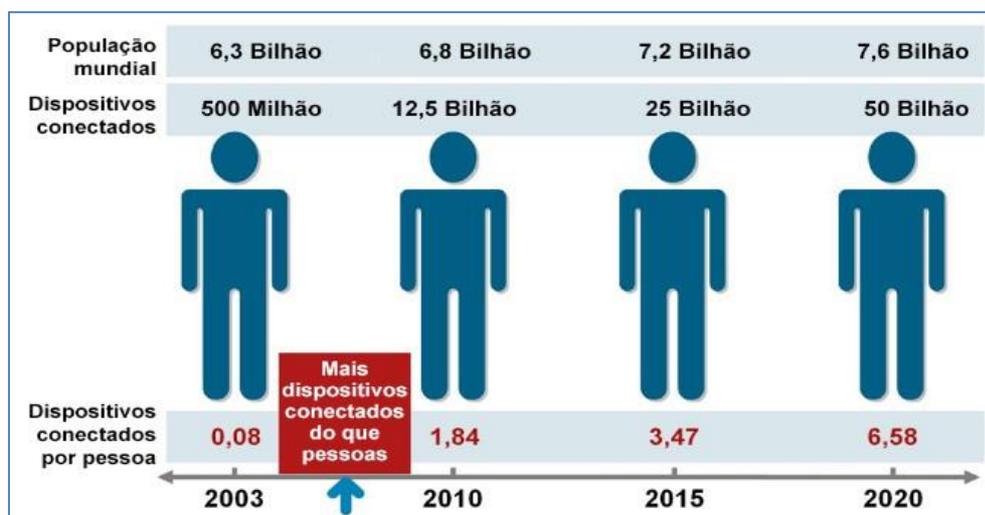
Em suma, é notória as semelhanças nas reflexões dos pesquisadores sobre o tema em questão, principalmente no partilhar comum que trata do monitoramento de consumo de forma instantânea e automática através de sensores. (Atzori, Iera e Morabito, 2010), ressaltam que a vanguarda da internet das coisas derivará de atribuições convergentes, mesmo o que em campos de conhecimentos diversos, no entendimento de que inúmeras são as pesquisas que se situam

aderentes ao desenvolvimento de novos produtos e tecnologias com o emprego de sistemas baseados em *IoT*.

## 2.2 A ascensão da Internet das Coisas

A conexão de objetos do cotidiano à internet é basicamente o objetivo da internet das coisas, isso permite a comunicação entre as coisas e pessoas desde longas distâncias. Agricultura, pecuária e medicina têm se beneficiado sobremaneira e rendido bons frutos com esta tecnologia, são áreas exigentes e carentes de tecnologias que tragam certo rigor de exatidão. Evans (2011) publicou um estudo através da *Cisco Internet Business Solutions Group* (IBSG), estimando que cerca de 50 bilhões de dispositivos estarão conectados até o início da próxima década. Isso demonstra claramente que a próxima evolução da internet, tanto em velocidades como em soluções atrairão a aptidão da IOT na coleta, análise e distribuição de dados, gerando informação, conhecimento e abrindo as fronteiras para a análise preditiva de dados.

Figura 1: Dispositivos conectados por pessoa



Fonte: Cisco IBSG, abril de 2011

Oferece grande validade ao relatório citado a 32ª Edição, 2021, da pesquisa anual do uso de Tecnologia da Informação (TI), realizada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) mostrando que, no Brasil, chegou-se à marca de 2,1 dispositivos digitais por habitante, sendo mais de 50% desses com smartphone, e que, mesmo com a economia retraída, os investimentos no setor de TI nas empresas, timidamente, continuam a crescer. Meirelles (2021).

## CAPÍTULO III

### 3.1 Metodologia

Segue neste capítulo os materiais e métodos empregues no andamento desta produção, peculiaridades da pesquisa, *hardware* e *software* aplicados ao protótipo e apresentação do sistema proposto em operação.

### 3.2 Características da Pesquisa

A organização da pesquisa subdivide-se em três estágios inter-relacionados: o estudo teórico-documental, implementação do protótipo e testes em ambiente factual. Para execução da pesquisa, com o propósito de se obter uma maior percepção a respeito do que se tem produzido dentro desta área, fora empregado como procedimento metodológico primário a revisão de literatura, identificando-se, assim, demais produções acadêmicas na mesma linha temática, a saber, aplicação de internet das coisas - *IoT* na aferição de consumo elétrico e hídrico em chuveiros elétricos. Salvador (1981) refere-se ao levantamento bibliográfico como o conjunto de indicações precisas e minuciosas que permitem a identificação de publicações já realizadas sobre o tema através da sistematização e análise dos resultados.

O presente trabalho possui natureza aplicada e tem como objetivo contribuir para fins práticos, visando à solução imediata do problema encontrado na realidade, como salienta Barros e Lehfeld, (2007, p. 93), com a perspectiva de desenvolver um artefato composto de sensores de baixo custo e que possibilite o monitoramento da aferição em tempo real do consumo de água e eletricidade de chuveiros elétricos convencionais. Appolinário (2004, p. 150 *apud* Vilaça, 2010, p. 65) destaca que pesquisas aplicadas têm o objetivo de resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas. Pesquisas desta natureza, em sua maioria, desencadeiam a partir de conhecimentos conceituais, modelagem, implementação de um protótipo e testes.

Nota-se uma demanda crescente pelo consumo de internet das coisas, fundamentada pelo seu baixo custo e consumo energético, associados com um alto valor agregado a aplicabilidade e funcionalidades. Nesta base temos uma alta quantidade de pesquisas atraídas a desenvolver sistemas conectados e integrados, muitas vezes potencializadas pelos movimentos *Maker* e *DIY - Do It Yourself*, através dos quais é dispensável conhecimento especializado, pesquisadores de áreas distintas se aventuram colocando literalmente a mão na massa e aprendendo com a prática.

Autores como (Lambrou *et al.*, 2014; Gielen, 2015; Pule, Yahya e Chuma, 2017) relatam esta nova característica de interação tecnológica. E não menos importante de mencionar a crescente socialização da informação nos dias atuais, a qual posiciona oferta e demanda face a face

através da rede mundial de computadores e que, por vezes, confronta a importância da informação em detrimento a formação.

Baseando-se na garantia da obtenção de êxito para a categoria do projeto proposto, aplicou-se especificações metodológicas fundamentadas em componentes, potencializando a eficiência na produção do trabalho em questão. Como apontado por Ramos (2017, p. 27), a modelagem baseada em componentes faz com que o produto seja construído por partes, distribuídos em pequenos módulos, focando em apenas uma funcionalidade ou um conjunto de funcionalidades semelhantes, objetivando assim, minimizar a complexidade envolvida no desenvolvimento. A proposta de Ramos (2017) tem similitude com a figura 2.

Figura 2: Modelo baseado em componentes e suas fases



Fonte: Adaptado de (Ramos, 2017)

Especificados os requisitos e após a análise dos componentes envolvidos, torna-se eventualmente necessária alguma modificação dos quesitos pressupostos. Logo após esta etapa, segue-se para o estágio de projeto e modelagem do sistema, balizado no reuso dos componentes já selecionados e testados de maneira isolada. Seguindo adiante, temos a fase de desenvolvimento e integração, onde os componentes são relacionados uns com os outros e novos componentes podem ser necessários para a composição final do conjunto. Finalizando a trajetória do processo de desenvolvimento o sistema é ratificado com testes em sua ambiência de produção, baseando-se nas especificações de requisitos iniciais.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 Especificações do sistema

É notório o uso em trabalhos científicos, devido sua ascensão, das ferramentas de baixo custo para aplicações de automação utilizando-se Internet das Coisas. Grande difusão no mercado nacional com custos atrativos de microcontroladores, sensores, atuadores e bibliotecas programacionais maduras para desenvolvimento de aplicações têm colocado estas soluções na lista de predileção dos desenvolvedores de protótipos para novas tecnologias. A seguir teremos o detalhamento técnico dos itens empregues no estabelecimento do protótipo em questão.

### 4.2 Caracterização dos componentes utilizados

Em suma, o presente capítulo descreve sucintamente uma breve apresentação de cada item utilizado no desenvolvimento no protótipo proposto, subdividido em blocos, para melhor compreensão do trabalho desenvolvido, a saber, sistema computacional central, hidráulico, elétrico, sistema de comunicação e autenticação.

### 4.3 Chuveiro elétrico

O chuveiro elétrico escolhido para testes com o sistema proposto foi o modelo Maxi Ducha Ultra fabricado no Brasil pela Lorenzetti, figura 3, um modelo convencional bastante comum em lojas de materiais de construção e possuindo selo de aprovação pelo Inmetro<sup>2</sup> e boa avaliação de consumo pelo Procel<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, órgão fiscalizador para o consumidor que certifica, através de avaliação, todos os produtos fabricados no Brasil.

<sup>3</sup> Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos à disposição no mercado, os mais eficientes e que consomem menos energia.

Figura 3: Chuveiro Lorenzetti Maxi Ducha



Fonte: <<https://magazineluiza.com.br/>>

Quadro 1: Dados técnicos do chuveiro utilizado.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Tensão	220 Volts
Potência	3200 Watts
Fios	2,5mm <sup>2</sup>
Pressão de funcionamento	10 a 400kPa <sup>4</sup>
Disjuntor	20 Amperes
Grau de proteção	IP 24
Sistema de aterramento	Sim
Mangueira com ducha manual	Sim
Largura	131mm
Altura	156 mm

Fonte: Adaptado do fabricante <<http://www.lorenzetti.com.br/>>

#### 4.4 Sistema computacional central

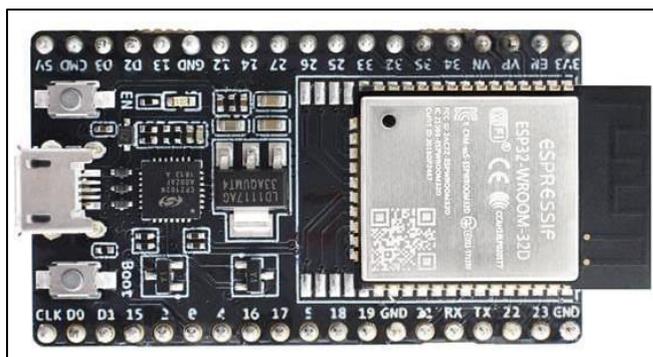
Durante o desenvolvimento do projeto notou-se a necessidade de um controle central que, além de receber os dados das aferições de consumo de água e eletricidade, pudesse fazer controle em tempo real da comunicação com a internet sem que houvesse latência durante os processos de transferência de dados, o sistema também é responsável pela abertura da válvula elétrica de passagem de água. Devido a estas características pré-estabelecidas julga-se a necessidade de o sistema computacional central acompanhe a estrutura elétrica e hidráulica do chuveiro.

<sup>4</sup> Quilopascal – unidade de medida de pressão utilizada em sistemas hidráulicos domésticos.

## 4.5 ESP32 – *DoIt DevKit v1*

Como sistema computacional central, optou-se pela placa de prototipação *DO IT DevKit v1* dotada de um microcontrolador Espressif ESP32 que integra em seu sistema os módulos IEEE 802-11 (Wi-Fi) b/g/n e Bluetooth LE (*low-energy*), figura 4.

Figura 4: DO IT DevKit v1



Fonte: <<https://wiki.devkit.cc/>>.

A placa conta com pino GND (*Graduated Neutral Density*), nacionalmente conhecido como “terra”, vem com um pino para alimentação de 3.3V, 21 pinos de entradas e saídas, botão *reset*, LED de *status*, conector JST (*Japan Solderless Terminal*), desenvolvido para uso em protótipos, onde não é necessário realização de pontos de solda, conta também com uma porta *micro-USB* para programação.

Quadro 2: Dados técnicos do microcontrolador utilizado.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Microcontrolador	ESP-32
Pinos	30
Tensão operacional	4,5 a 12V DC
Tensão de nível lógico	3,3V
Pinos de E / S digitais	16
Pinos de entrada analógica	2
Velocidade do relógio (máx.)	240Mhz
Armazenamento Flash	4M bytes
Largura	51mm
Conexão WiFi	b/g/n 2.4Ghz

Fonte: Adaptado de <http://devkit.cc>

## 4.6 Válvula de passagem de água

Para que haja controle de fluxo de água entre o sistema hidráulico predial e o chuveiro, optou-se por uma válvula elétrica semelhante às usadas em máquinas lavadoras de roupa, figura 5.

Figura 5: Válvula de passagem de água.



Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 3: Especificações técnicas da válvula

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Modo de operação	Magnética N/F <sup>5</sup>
Tipo de válvula	Diafragma
Tensão operacional	220 Volts AC
Espessura das conexões	½ polegada
Posição mecânica	180°
Pressão de funcionamento	20kPa – 800kPa
Temperatura máxima do líquido	100°C

Fonte: <<https://www.eletrogate.com>>

## 4.7 Sistema computacional de consumo hidráulico

Para computar a aferição do fluxo de água consumido pelo chuveiro, decidiu-se pela independência computacional pelo fato de que o aferidor de fluxo utiliza o paradigma de interrupção de *hardware*, que se implementado no sistema computacional central poderia causar certa latência aos processos de comunicação.

---

<sup>5</sup> Quando não há tensão nos terminais da válvula ela se encontra na posição N/F – Normalmente Fechada.

## 4.8 Arduino Nano

A placa micro controladora escolhida para aferição de fluxo hidráulico foi o Arduino Nano, figura 6, devido a sua simplicidade e tamanho reduzido. O quadro 4 denota suas características técnicas básicas.

Quadro 4: Especificações técnicas do Arduino Nano

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Microcontrolador	ATmega328
Pinos	30
Tensão operacional	7 – 12Vdc
Tensão de nível lógico	5V
Pinos de E / S digitais	14
Pinos de entrada analógica	8
Velocidade do relógio (máx.)	16Mhz
Armazenamento Flash	32Kb
Largura	18mm
Conexão WiFi	Não possui

Fonte: Adaptado do fabricante (<http://docs.arduino.cc/hardware/nano>)

Figura 6: Arduino Nano



Fonte: Adaptado do revendedor comercial (<http://www.newark.com/products/nano>).

## 4.9 Sensor de fluxo hidráulico YF-S201

Para aferição de fluxo hidráulico foi empregue o sensor YF-S201, figura 7, bastante utilizado em sistemas hidropônicos, possuindo excelente vedação contra infiltração proporcionando uma grande relação de durabilidade. Suas especificações se encontram no quadro 5.

Figura 7: Sensor de fluxo hidráulico YF-S201



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8: Especificações técnicas YF-S201

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Tecnologia	Sensor Hall
Tensão operacional	3,5 – 24Vdc
Fluxo alcançável	30L/min
Pulso de fluxo	2L/min=16HZ / 10L/min=82HZ
Espessura do acoplamento	1/2"

Fonte: Adaptado datasheet (*Hobbytronics*)

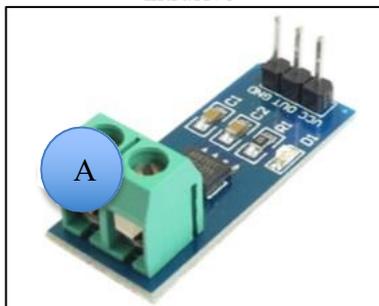
#### 4.10 Sistema computacional de consumo elétrico

Para a aferição do consumo elétrico do chuveiro, decidiu-se também pela independência computacional, desta feita, pelo motivo de que o aferidor de corrente elétrica ACS712-30A, figura 8, escolhido opera em nível lógico<sup>6</sup> de tensão a 5 Volts diferente do sistema computacional central ESP32, a saber originalmente em 3,3 Volts. A escolha para tal não fora diferente do sistema utilizado na aferição de consumo hidráulico, o Arduino Nano, somando-se o nível lógico a 5 Volts aos mesmos propósitos anteriores, baixa complexidade e tamanho reduzido.

---

<sup>6</sup> Nos circuitos digitais, um nível lógico é aquele que possui um número finito de estados que um sinal pode variar (0 – LOW ou 1 – HIGH)

Figura 9: Sensor de corrente elétrica intrusivo



Quadro 5: Sensor de corrente elétrica intrusivo

PINAGEM	DESCRIÇÃO
VCC	5 Volts
OUT	Sinal Analógico 66mV/A
GND	Ground
A	-30 Amperes ~ 30 Amperes

Fonte: Adaptado do fabricante (<http://allegromicro.com/acs712-30a>)

#### 4.11 Compartimento do sistema computacional central

Devido ao ambiente operacional do sistema, torna-se necessária a utilização de um compartimento hermético, pois é passível de receber umidade e temperaturas elevadas, com possibilidade de danos aos circuitos caso haja respingos d'água ou forte incidência de vapor. O modelo do atual protótipo propõe um invólucro transparente, para que os circuitos internos sejam visíveis para a apresentação deste trabalho, mas com intuito de diminuir a possibilidade de danos ao circuito, ocasionando avarias e oxidação. A figura 9 ilustra um modelo comercial de lustre, ou arandela luminosa, escolhido para acomodar o sistema computacional central.

Figura 10: Arandela 200x90x130(mm)



Fonte: Elaborado pelos autores

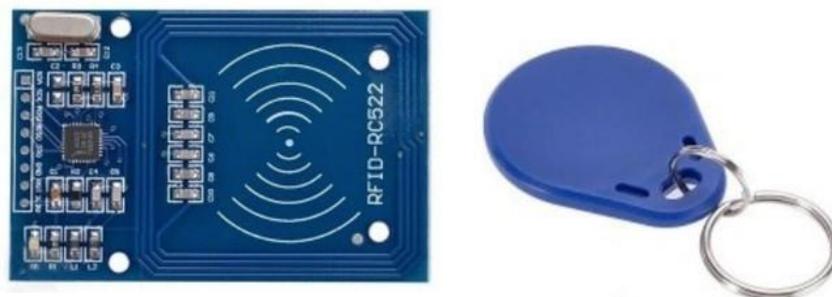
#### 4.12 Sistema de autenticação

Como o propósito do sistema consiste em aferir o consumo de água e eletricidade por usuário observou-se a necessidade de identificação de cada utilizador do chuveiro, separando seu consumo por data, horário e tempo de banho. Para que tal funcionalidade fosse alcançada um sistema paralelo para autenticação foi implementado possibilitando que cada usuário do chuveiro pudesse ser devidamente registrado para que antes de seu banho ser iniciado o sistema tenha controle sobre o perfil do usuário em questão. A seguir, seguem os componentes utilizados para a produção de tal sistema.

#### 4.13 Módulo RC-522 - RFID (Radio Frequency Identification)

A forma de autenticação escolhida foi o de codificação por aproximação através de RFID, sistema de baixo custo, baixa complexidade e amplamente utilizado no mercado. Gartner a define como “uma tecnologia de coleta de dados que usa ondas de radiofrequência para transferir dados entre um leitor e uma etiqueta eletrônica para identificar, rastrear e localizar o item marcado”. O modelo, figura 11, utilizado, permite leitura e gravação dos usuários através de etiquetas eletrônicas embutidas em chaveiros, cartões e até mesmo pulseiras RFID.

Figura 11: Módulo leitor/gravador de RFID e chaveiro RFID



Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 6: Especificações técnicas do módulo RC522.

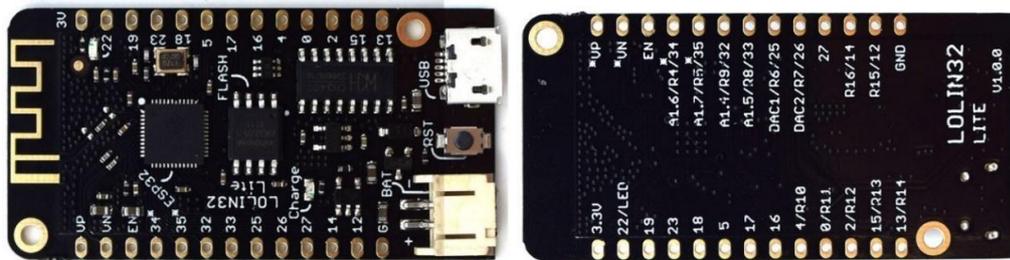
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Frequência	13.56MHz
Tensão operacional	2.5 – 3.3 Volts
Comunicação	SPI / UART / I2C
Distância de leitura	5 centímetros

Fonte: Adaptado da ficha de dados do fabricante (<http://alldatasheet.com/RC522>)

#### 4.14 Microcontrolador WEMOS LOLIN *Lite*

O Microcontrolador elegido para controle de autenticação foi o *LOLIN Lite*, figura 11, baseado no ESP32. Integra em seu sistema os módulos IEEE 802-11 (*Wi-Fi*) b/g/n e Bluetooth LE (*low-energy*).

Figura 12: Wemos Lolin32 Lite



Fonte: <<https://wiki.wemos.cc/>>.

Assim como na descrição do *DO IT DevKit v1*, sua placa “prima”, a placa em questão é dotada de um microcontrolador Espressif ESP32, conta com pino GND, vem com um pino para alimentação de 3.3V, 21 pinos de entradas e saídas, botão *reset*, LED de *status*, conector, porta *micro-USB* para programação, com a diferença de fornecer conexão para alimentação e recarregamento de bateria LiPo (*Lithium polymer battery*).

Quadro 7: Dados técnicos do microcontrolador utilizado.

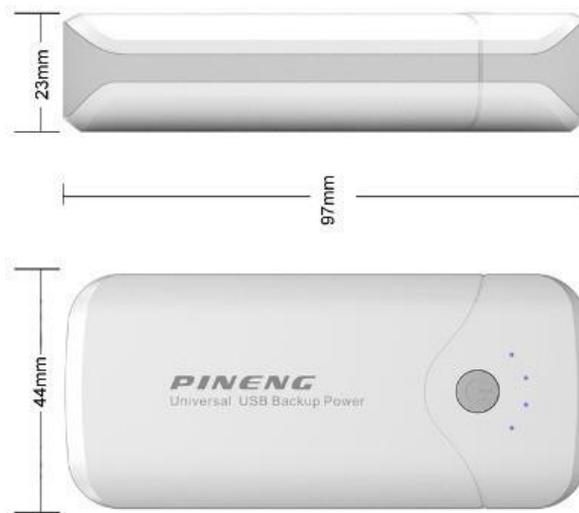
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Microcontrolador	ESP-32
Tensão operacional	3.3V
Pinos de E / S digitais	19
Pinos de entrada analógica	6
Velocidade do relógio (máx.)	240Mhz
Armazenamento Flash	4 megabytes
Largura	2.54mm

Fonte: Adaptado do fabricante (<http://wemos.cc>)

#### 4.15 Sistema de alimentação do painel de autenticação

Para o modelo de utilização do painel de autenticação, utilizou-se uma bateria de 5000mAh, figura 12, visto que, a utilização do modelo proposto poderá ser, também, em local sem ponto de energia elétrica como portais e boxes de vidro. Possui facilidade de carregamento, podendo ser recarregado em qualquer porta USB (*Universal Serial Bus*) de um computador desktop/notebook ou diretamente de uma tomada com um *plug* conversor. Com autonomia aproximada de 3 semanas de carga em modo de uso contínuo.

Figura 13: Bateria Pineng 5000mAh PN-905



Fonte: Elaborada pelos autores.

#### 4.16 Compartimento do sistema de autenticação

Compartilhando dos mesmos motivos elencados para o compartimento computacional central, a saber, a umidade e altas temperaturas no ambiente de operação, a figura 13 ilustra o modelo hermético escolhido para acomodar o sistema de autenticação.

Figura 14: Caixa hermética padrão 124x85x53(mm)



Fonte: Elaborado pelos autores

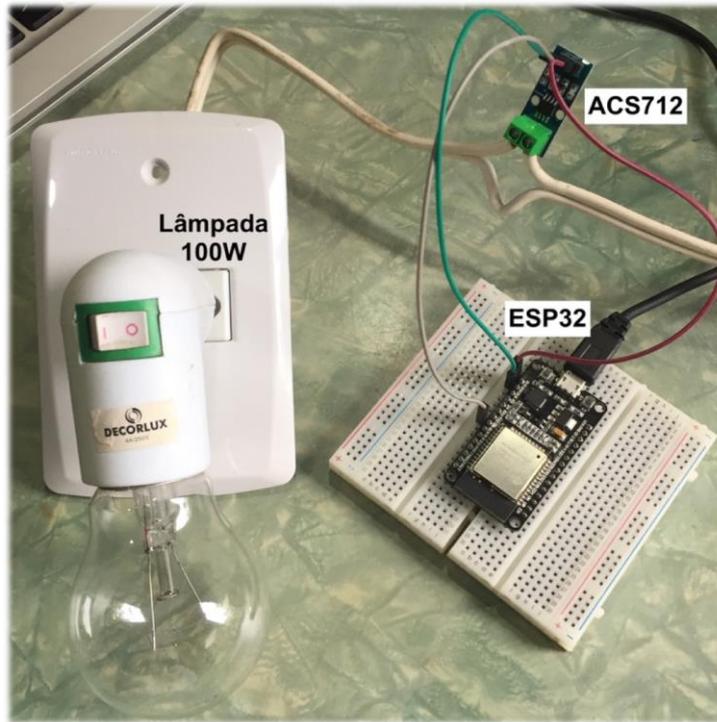
#### 4.17 Montagem e testes de bancada

Com a finalidade de ilustrar a trilha de montagem do sistema, doravante são apresentadas informações a respeito da construção dos equipamentos envolvidos na concepção do mesmo.

#### 4.18 Montagem do aferidor de consumo elétrico

Na figura 14, temos o teste de bancada do sistema de aferição de consumo elétrico, no qual foi adaptado uma tomada elétrica com conexão compatível a correntes de até 20 amperes possibilitando acoplar ao sistema potências de até 4.400 watts em tensões 220 volts. Inicialmente utilizou-se uma lâmpada incandescente com potência de 100 Watts, mas no teste em questão verificou-se que as aferições não traziam resultados satisfatórios, devido a uma incompatibilidade entre o sensor ACS712-30A com a plataforma ESP32, a saber, a resolução na leitura analógica.

Figura 15: Teste de bancada aferição de corrente



Fonte: Arquivo pessoal

Originalmente, os sensores ACS712 possuem *software* disponibilizado pelo fabricante com compatibilidade apenas com os microcontroladores Arduino. Os pinos de entradas analógicas em sistemas baseados nos controladores *Espressif*, como o ESP32, operam em resolução de 12bits, entregando, desta forma, uma maior resolução de leitura analógica se comparados com as placas Arduino, sendo que elas operam na faixa lógica de 10bits. O quadro 9 demonstra uma comparação entre estes valores.

Quadro 8: Características de leitura do sensor ACS712/30

CARACTERÍSTICAS DE LEITURA DO SENSOR ACS712/30			
ACS712/30 (A)	ESP32 – 12bits (DEC)	Arduino – 10bits (DEC)	ACS712/30 (mV)
-30	0	0	0
0	2048	512	990
30	4095	1023	1980

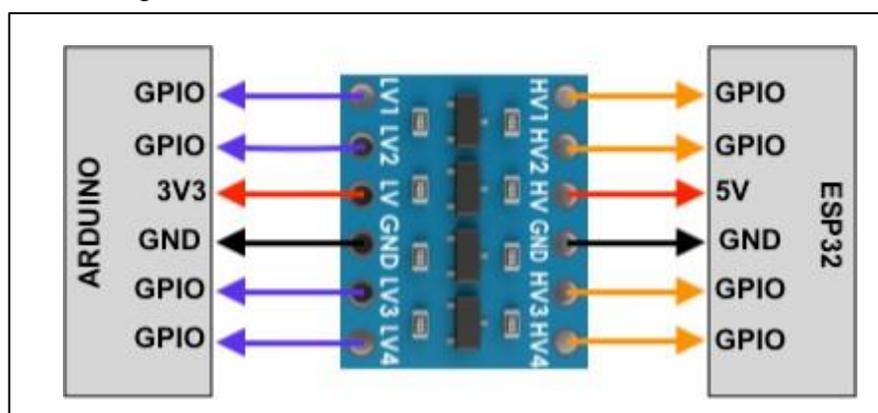
Fonte: Adaptado do *datasheet* do sensor

No intuito de se utilizar o *hardware* e *software* originais, obteve-se sucesso na utilização de uma placa Arduino diretamente conectada ao ACS712 devido à compatibilidade de tensões de leitura de nível lógico e resolução de *software* entre eles. Destarte, optou-se por realizar todos os cálculos de consumo e potência diretamente neste Arduino, desonerando o microcontrolador

central ESP32 desta tarefa. Para isto utilizou-se o protocolo de comunicação I2C<sup>7</sup> pelo qual os resultados das aferições no Arduino são transmitidos ao ESP32.

Para sanar o problema da incompatibilidade de níveis lógicos entre a comunicação dos circuitos Arduino(5V) e ESP32(3V3) via protocolo I2C, fora utilizado um circuito intermediário *Level Shifter*, figura 15, ou corretor de nível lógico. O *level-shifter* possibilita a comunicação de dados aumentando a tensão no sentido ESP32 – Arduino e reduzindo a tensão no sentido Arduino - ESP32, como apontado por (Araújo *et al.*, 2020).

Figura 16: Circuito Level Shifter ou corretor de nível



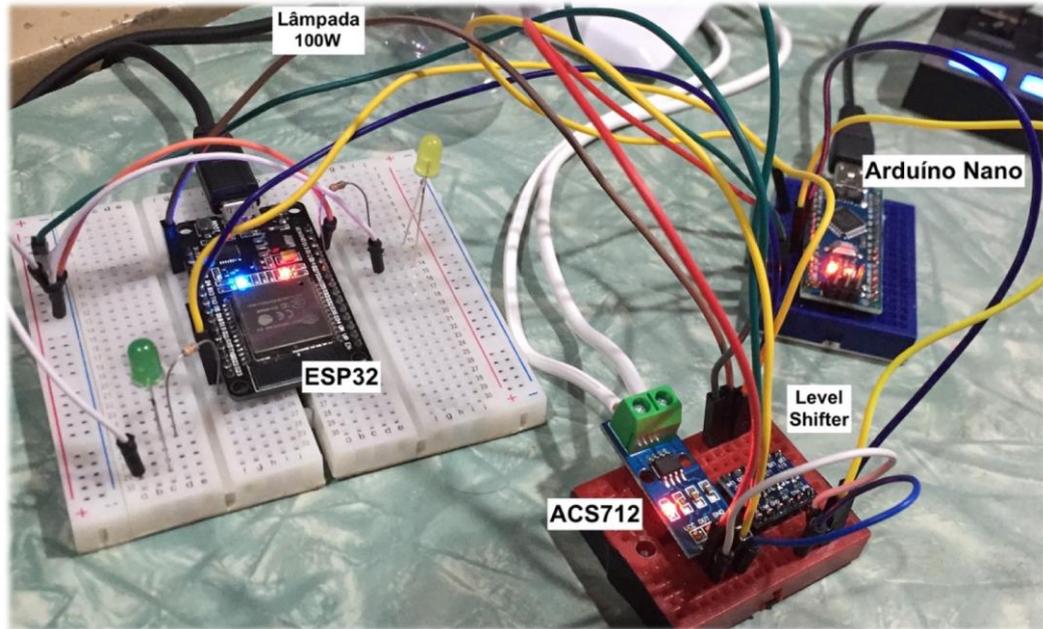
Fonte: Elaborado pelos autores

A omissão da utilização de um circuito como este traria sérios danos às portas lógicas do ESP32, pois não suportariam a tensão de 5V provenientes do Arduino. Importa salientar que com uma placa eletrônica *Level Shifter* se pode conectar até dois Arduinos a um ESP32 ou até mesmo dois Arduinos a dois ESP32 separadamente e também na configuração da figura acima, utilizar os 4 canais de comunicação, sendo 2 canais em *full-duplex*<sup>8</sup> entre um Arduino e um ESP32. A figura 16 demonstra o circuito em questão, inicialmente contendo somente um Arduino conectado a um ESP32 a saber, o circuito aferidor de consumo elétrico.

<sup>7</sup> No Protocolo I2C a transmissão de dados é feita através de 2 linhas, o *Serial Data (SDA)* e o *Serial Clock (SCL)*. O *SDA* é responsável de enviar e receber os dados e o *SCL* para criar um relógio que sincroniza o tráfego das informações entre os sistemas.

<sup>8</sup> A comunicação em *full-duplex* permite que dispositivos distintos se comuniquem simultaneamente sem a necessidade de pausas durante as transmissões, assim como em uma chamada telefônica.

Figura 17: Teste de aferição de corrente utilizando level shifter



Fonte: Arquivo pessoal

O algoritmo do código fonte da aplicação de consumo utiliza a seguinte equação matemática para realizar o cálculo de consumo. Onde  $E$  é a energia gasta em KWh (Quilowatt hora),  $P$  a potência média em Watts produzida durante o uso do equipamento e  $t$  o tempo de uso em horas.

$$E = P \times t$$

A potência  $P$  é aferida em tempo real através do sensor ACS712 e suas variações armazenadas de segundo em segundo em uma estrutura de dados programacional do tipo vetor  $V[x]$ . Após a finalização das aferições é realizada a média aritmética dos valores coletados e o tempo  $t$  é calculado a partir do início das aferições utilizando os pulsos de *clock* do microcontrolador Arduino em milissegundos, após a finalização este valor é convertido em horas para ajustar-se às unidades empregues na equação. A tabela 1 exhibe os resultados.

Tabela 1: Testes de aferição elétrica

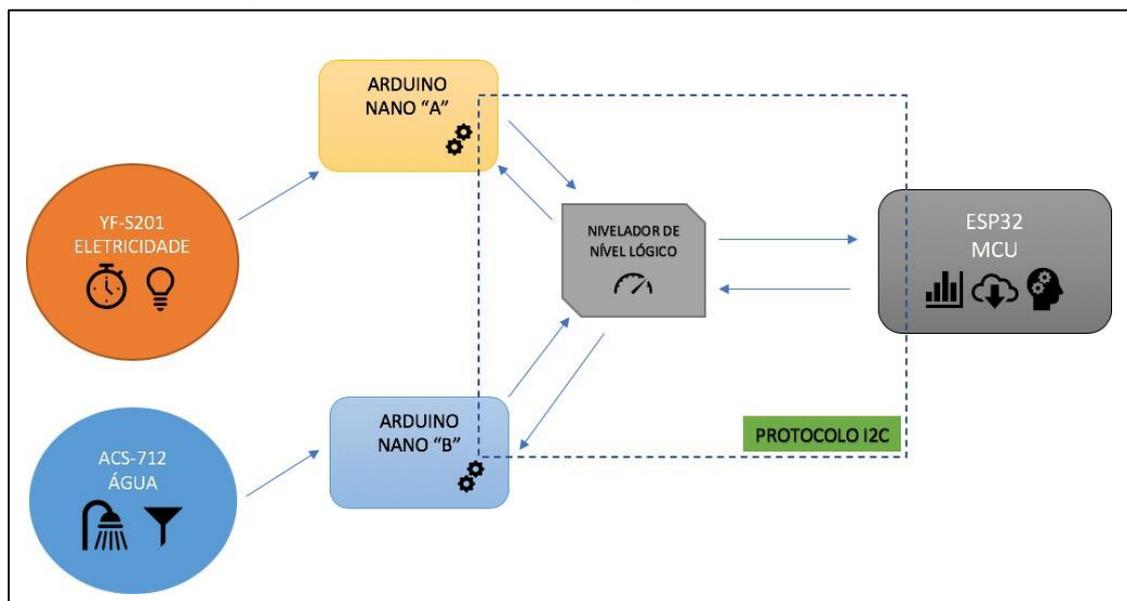
RESULTADO DAS AFERIÇÕES					
TEMPO	APARELHO	POT. NOMINAL (W)	POT. MÉDIA (W)	TARIFA (R\$)	CONSUMO (R\$)
60 minutos	Lâmpada	100	95.31	0,87	0,09
24 horas	Lâmpada	100	92.43	0,87	2,08
7 dias	Lâmpada	100	98.99	0,87	14,59
30 dias	Lâmpada	100	92.02	0,87	62,54
30 minutos	Chuveiro	3200	3072.07	0,87	1,33
40 minutos	Churrasqueira	6400	6314.09	0,87	3,71

Fonte: Elaborado pelos autores

#### 4.19 Montagem do aferidor de consumo hidráulico

A complexidade do esquema para aferição de consumo hidráulico tornou-se conexas à do sistema de aferição de consumo elétrico, uma vez que ambos utilizam microcontroladores Arduino para o processamento de suas leituras e necessitam de um circuito *level shifter*, ou nivelador de nível lógico, para corrigir as tensões e transmitir seus resultados para o controle central efetuado pelo ESP32. A figura 17 demonstra esquematicamente uma visão geral da comunicação do sistema de aferições.

Figura 18: Comunicação entre os componentes de aferição

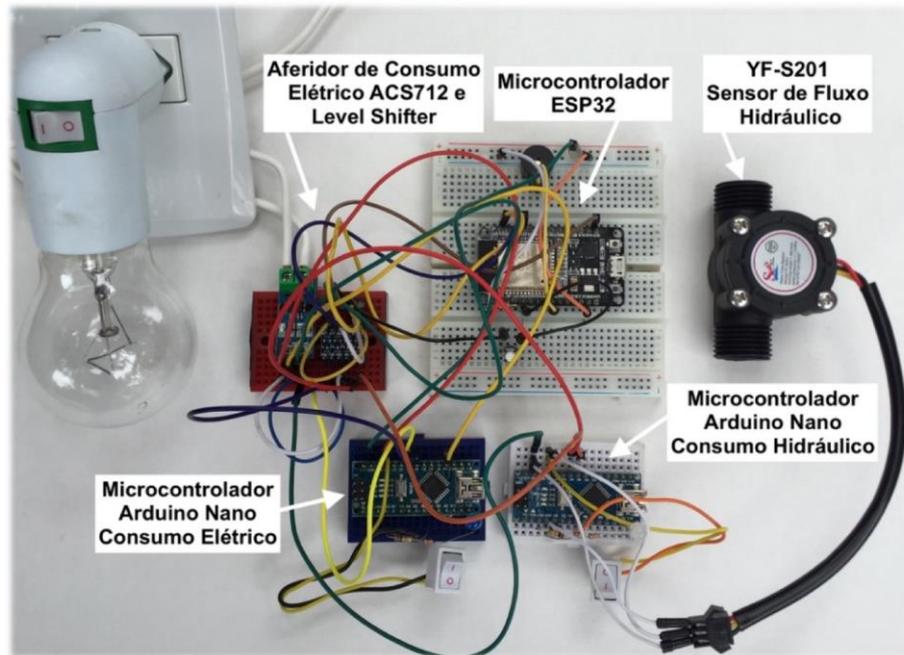


Fonte: Elaborado pelos autores

Percebe-se neste momento os conjuntos de aferição de água e eletricidade convergindo em um só sistema, uma vez que possuem linhas paralelas de comunicação e que ambas as aferições se

estabelecem e se encerram exatamente no mesmo tempo, que compreende o início e o fim do banho. A figura 18 expõe o circuito contendo o sistema completo de aferição, tanto de água quanto de eletricidade.

Figura 19: Sistema de aferição de água e eletricidade



Fonte: Arquivo pessoal

Para que fosse possível os testes em bancada, utilizou-se resistências de duas churrasqueiras elétricas, cada qual com 1300 watts de potência ligadas em paralelo, agregando um total de 2600 watts de potência para simular a potência de consumo elétrico do chuveiro. Para simular o fluxo de água, foi aplicada uma mangueira conectada à uma torneira doméstica. A figura 19 trata-se de uma captura de tela do terminal de comunicação de dados serial conectado ao controle central ESP32, demonstrando os dados aferidos pelos sensores de água e eletricidade durante o período de 24 minutos.

Figura 20: Dados aferidos após finalização do “banho”.

```
Comando remoto recebido: Desligar

Enviando requisição...
...
Solicitando fechamento de conta ao aferidor elétrico...
DADOS DO AFERIDOR ELÉTRICO:
Dado bruto: 24.00 ; 2658.08 ; 0.9
Tempo do Banho: 24.00 Minutos
Potência Média: 2658.08 Watts
Consumo de Energia em Moeda: R$0.90
Consumo de Energia em KWH: 1.06 KWH
-----

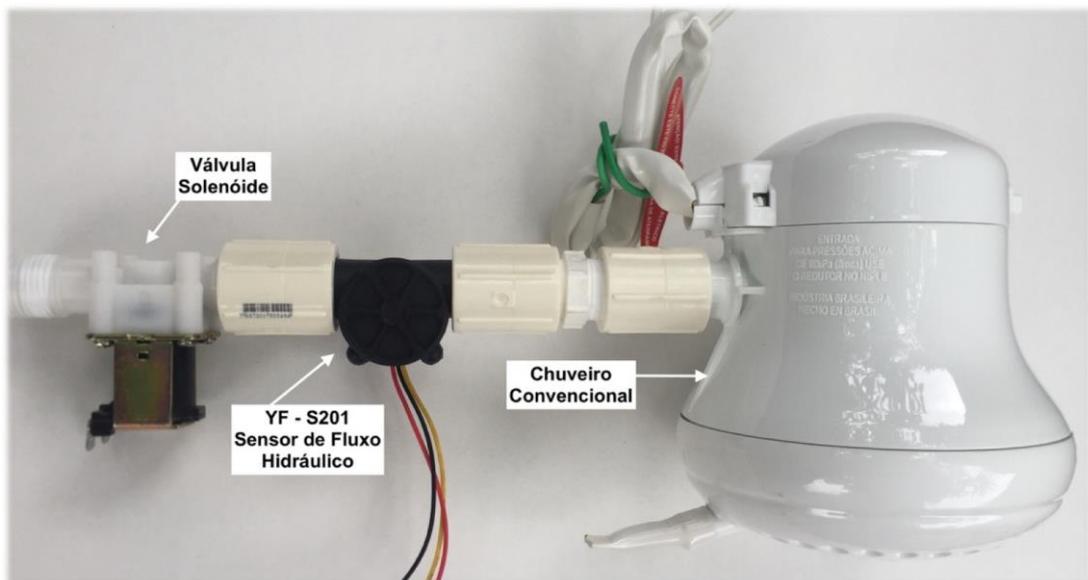
Solicitando fechamento de conta ao aferidor hidráulico...
DADOS DO AFERIDOR HIDRÁULICO:
Dado bruto: 22.00 ; 0.14 ; 0.00
Quantidade de Água: 22.00 Litros
Consumo de Água em Moeda: R$0.14
-----
```

Fonte: Arquivo pessoal

#### 4.20 Montagem do conjunto hidráulico

A figura 20 ilustra o conjunto montado, constituído pelo atuador de válvula solenoide, que torna possível a admissão, abertura e fechamento, da passagem de água através do sistema, o sensor de fluxo de passagem de água YF-S201 e o chuveiro elétrico padrão convencional, a saber, o Lorenzetti Maxi Ducha Ultra. Importa salientar que todas as conexões plásticas hidráulicas, luvas e redutores, possuem espessuras de meia polegada ( $\frac{1}{2}$ " ) análogas a do chuveiro utilizado, garantindo a sua pressão de funcionamento correta que compreende de 10 a 400kPa.

Figura 21: Montagem do segmento hidráulico



Fonte: Arquivo pessoal

A utilização do sensor de fluxo hidráulico YF-S201 trás implicações bastante características de um sistema eletromecânico com o sensor hall<sup>9</sup>, utilizado em sua construção, tornando necessária uma atenção especial para captar em tempo real o deslocamento do fluxo sob ele. Esta captação de pulsos de revoluções utiliza o recurso de interrupção de *hardware*<sup>10</sup>, o que torna, neste contexto de complexo de processos de comunicação, a necessidade de um sistema computacional exclusivo para esta finalidade.

Corroborando o que fora dito anteriormente, o microcontrolador escolhido para este fim foi o Arduino Nano, elegido também, assim como no sistema de aferição de consumo elétrico, para computar não somente os resultados das aferições, mas também entregar o resultado do consumo da água gasta no banho ao controlador central ESP32.

#### 4.21 Incorporação dos elementos do sistema central

A figura 21 exhibe o acondicionamento dos elementos que fazem parte do sistema central e a figura 22 ilustra a prototipação básica em diagramação digital do sistema central, para a qual foi utilizado o aplicativo *Fritzing*. Para facilitar a compreensão e localização dos componentes nas figuras forão devidamente enumerados os principais componentes do conjunto.

Sensor YF-S201 – Aferição Hidráulica;

Sensor ACS712/30A – Aferição Elétrica;

Válvula Solenoide 220V – Controle de Admissão Hidráulica;

Microcontrolador ESP32 – Controle Central;

Microcontrolador Arduíno Nano – Consumo Hidráulico;

Microcontrolador Arduíno Nano – Consumo Elétrico;

Fonte de Alimentação 220VAC - 5 VDC;

Relé 5V – Acionamento Solenoide;

*Level Shifter* – Controle de Nível Lógico;

Conexão de Entrada de Água – Solenoide;

Conexão de Saída de Água – Chuveiro;

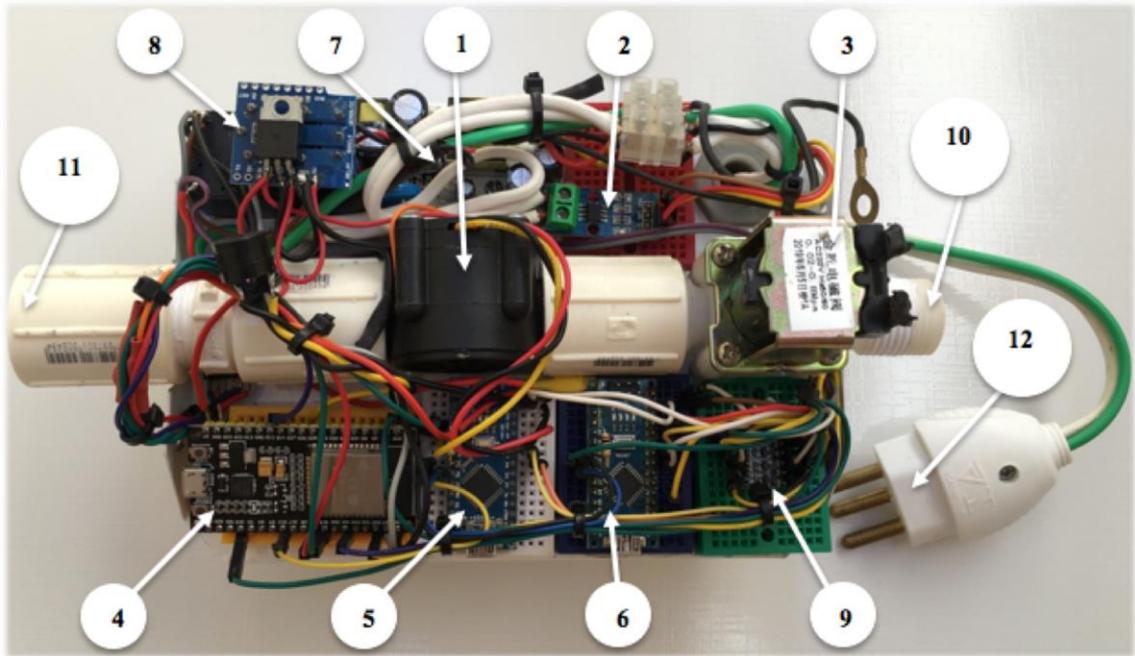
Entrada AC/220V/20A – Alimentação Elétrica.

---

<sup>9</sup> O Sensor Hall trata-se de um dispositivo magnético que emite pulsos elétricos quando há movimento entre seus componentes.

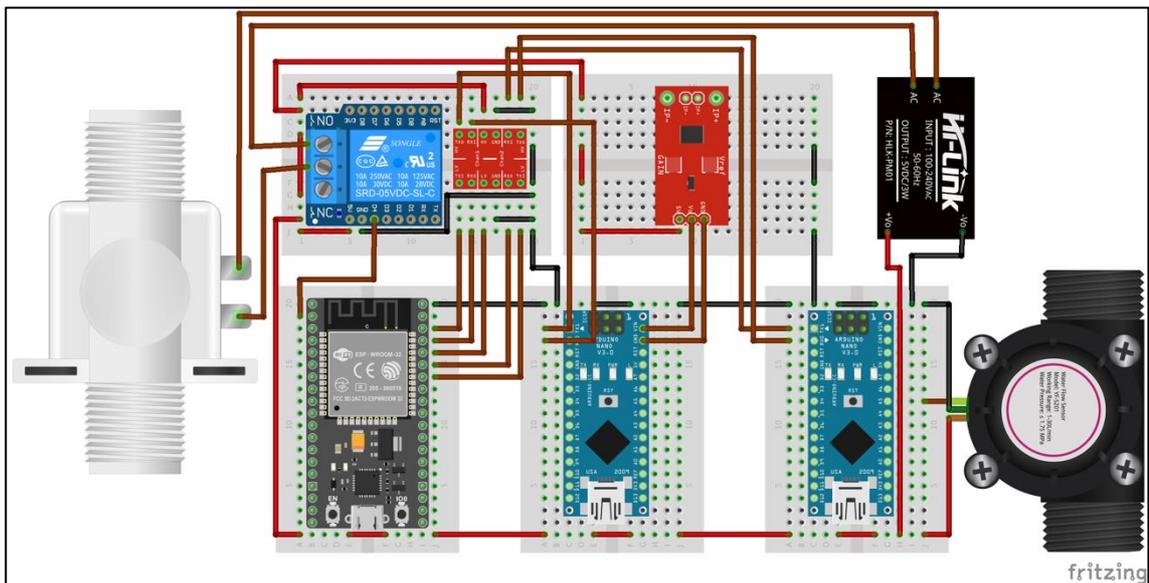
<sup>10</sup> Interrupções de *hardware* foram introduzidas como forma de evitar o desperdício de tempo do processador durante loops de *software*, faz com que o processador dê atenção ao dispositivo no momento em que um evento acontece com ele.

Figura 22: Elementos do sistema central incorporados à base do compartimento



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 23: Prototipação básica dos elementos do sistema central



Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 23 ilustra a parte externa da base do compartimento onde estão localizadas a tomada para fornecimento de eletricidade ao chuveiro e a entrada AC de alimentação elétrica para o sistema. Importante salientar que todo o circuito, inclusive o compartimento metálico possui conexão com o aterramento, em conformidade com a norma NBR5410.

Figura 24: Base externa do compartimento central

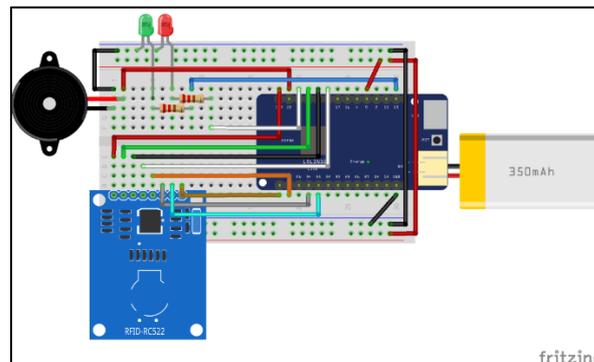


Fonte: Arquivo pessoal

#### 4.22 Montagem do sistema de autenticação

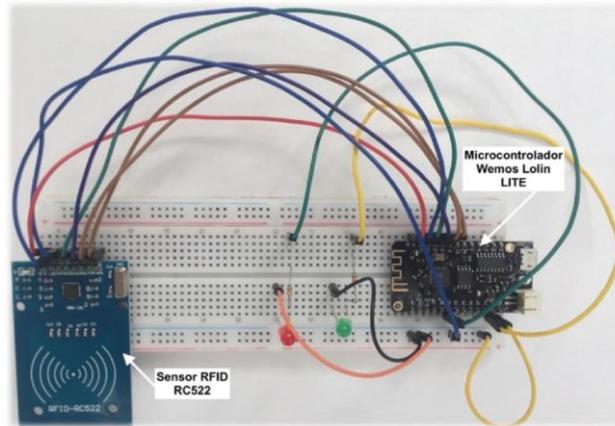
O sistema é composto de uma leitora RFID e do microcontrolador, que processa as autenticações, basicamente confirmando se o código RFID é válido, no caso positivo, o chuveiro é liberado para o banho e iniciam-se as medições de consumo. O sistema também é responsável pelo registro de códigos RFID dos usuários que são cadastrados no banco de dados central, localizado na internet, o sistema de autenticação cumpre o papel de registro local. O cadastro é efetuado através de uma aplicação que será apresentada posteriormente. A figura 24 demonstra o protótipo em imagem de arquivo digital e a figura 25 ilustra configuração do circuito físico inicial montado para testes em bancada.

Figura 25: Prototipação digital do sistema de autenticação



Fonte: Elaborado pelos autores

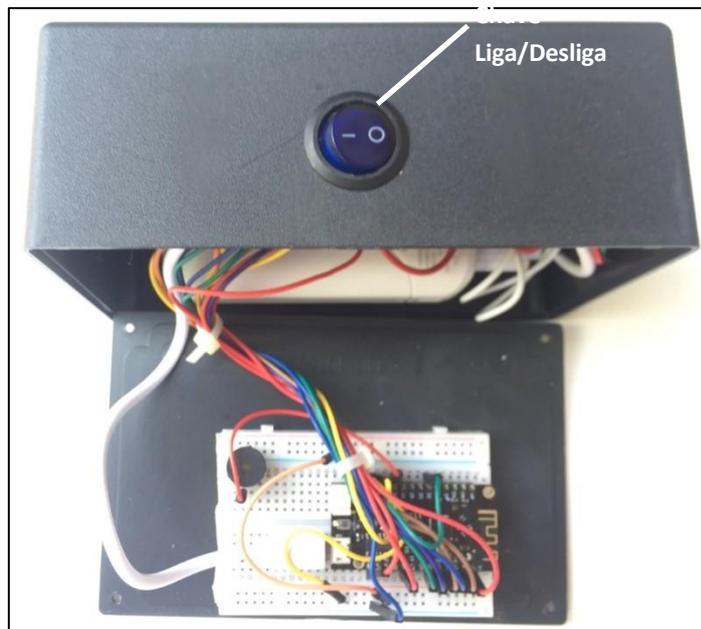
Figura 26: Circuito físico do sistema de autenticação



Fonte: Arquivo pessoal

Assim como o sistema central, a autenticação do sistema também necessita contar com um compartimento que o proteja contra a umidade, a figura 26 e 27 demonstram o acondicionamento do sistema de autenticação em seu compartimento específico.

Figura 27: Visão da lateral direita do compartimento de autenticação com a tampa traseira aberta

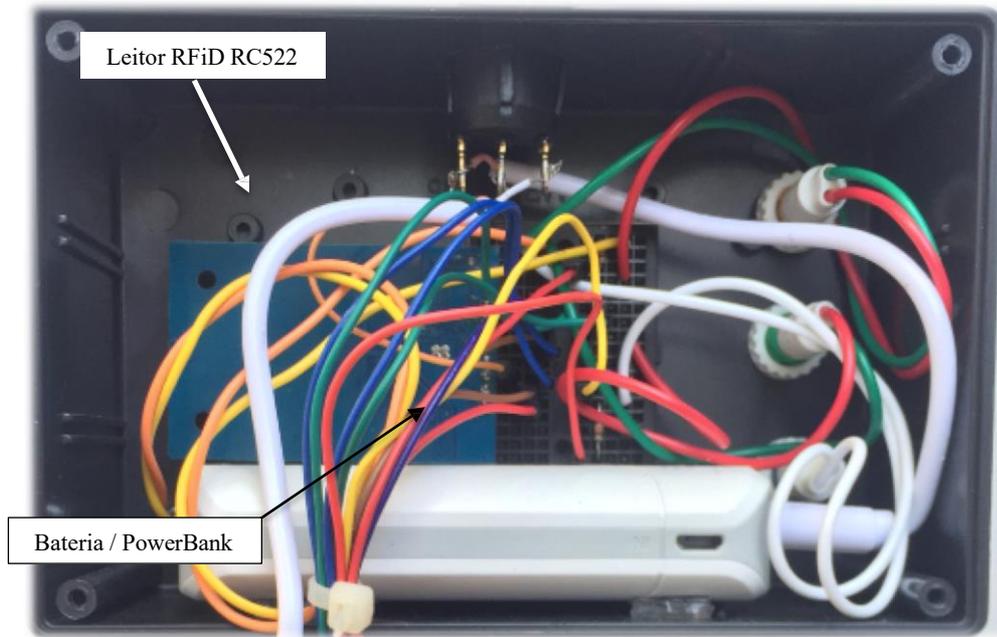


Fonte: Arquivo pessoal

Devido ao baixo consumo do microcontrolador e a latência no uso do sistema, a bateria / *powerbank* utilizado é capaz de alimentar o sistema em um ambiente doméstico durante meses. Esta grande autonomia torna o sistema de autenticação bastante versátil no que tange à sua instalação, pois não há necessidade de haver energia elétrica no local, e o período para sua recarga

completa acontece em cerca de 45 minutos. A figura 27 trás os detalhes da acomodação da bateria e do leitor RFiD.

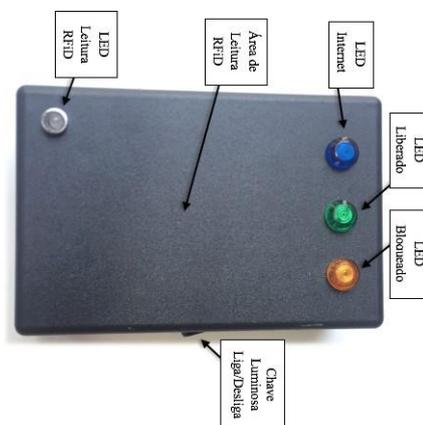
Figura 28: Visão sem a tampa traseira do compartimento de autenticação



Fonte: Arquivo pessoal

O painel frontal de autenticação, figura 28, dispõe de 5 indicadores luminosos que demonstram o funcionamento básico do sistema, sinalizam se há conexão com a internet (LED Azul), se o chuveiro está liberado para banho (LED Verde) ou se está bloqueado (LED Amarelo), também sinaliza se a há leitura RFiD sendo executada (LED Branco) e se o sistema está ligado, através de um indicador no próprio interruptor liga/desliga.

Figura 29: Visão frontal do compartimento de autenticação



Fonte: Arquivo pessoal

Como solução para fixação do sistema de autenticação, foram utilizados velcros, que com o auxílio de uma cola de silicone, possibilita sua afixação em portais de madeira ou boxes de vidro com grande facilidade e segurança. A figura 29 expõe o detalhe traseiro do compartimento com as fitas de velcro.

Figura 30: Visão traseira do compartimento de autenticação com a tampa fechada

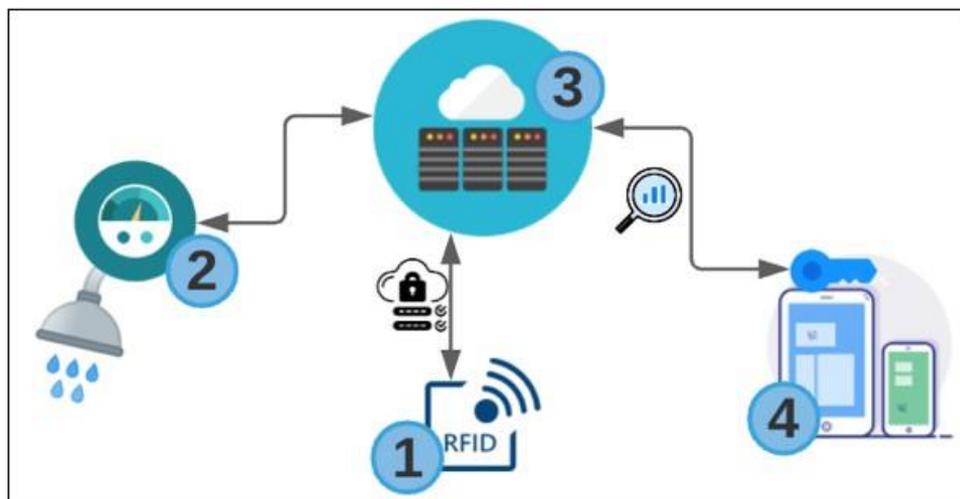


Fonte: Arquivo pessoal

#### 4.23 Visão geral do sistema

A figura 30 ilustra o comportamento do sistema que se divide em 4 componentes interdependentes: (1) Painel de autenticação do usuário via RFID; (2) Controladora do chuveiro; (3) Armazenamento de dados na nuvem; (4) *Software* de cadastro de usuários e verificação de dados via *APP*.

Figura 31: Fluxograma do Sistema



Fonte: Elaborado pelos autores

Para que os usuários do chuveiro possam utilizá-lo é necessário o cadastro dentro do *APP* (4), que poderá ser baixado e instalado em seu dispositivo de comunicação móvel. A controladora

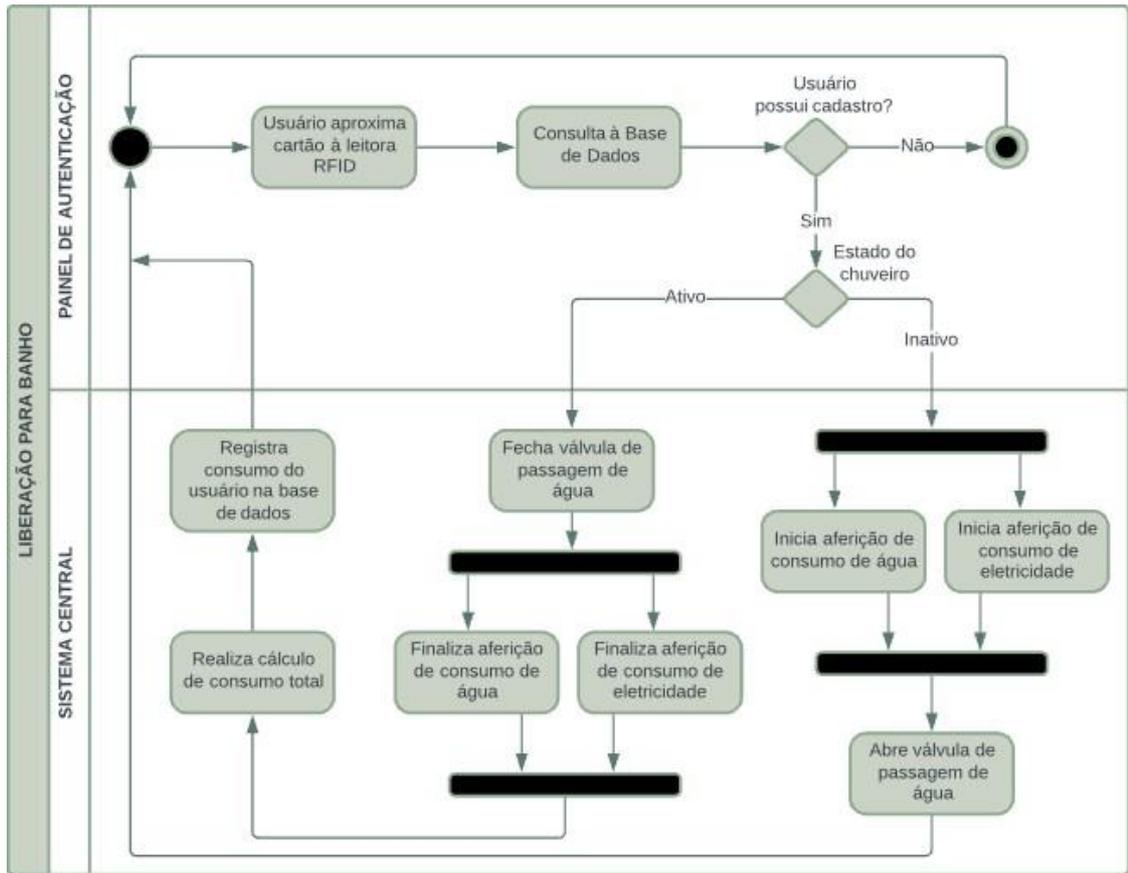
do chuveiro (2) possui um identificador único *UID* que deverá ser vinculado à aplicação (4), também durante o cadastro, tornando possível o monitoramento do mesmo via *APP* através da internet. A chave de autenticação do usuário poderá ser um cartão, chaveiro ou pulseira com tecnologia *RFID*, cuja vinculação individual se dará durante o cadastro junto ao *APP* (4) aproximando-o do painel de autenticação (1).

Após o cadastro, o usuário poderá aproximar o cartão *RFID*, vinculado ao seu perfil, ao painel de autenticação. O controlador do chuveiro o libera para uso, iniciando, então, as aferições de gasto de água e eletricidade. Toda a interconexão entre os componentes realiza-se através da tecnologia *WiFi*, desta forma, não havendo necessidade na utilização de fios ou cabos para comunicação entre eles. Ao finalizar seu banho, o usuário aproximará novamente seu cartão do painel de autenticação, o chuveiro então será desativado e as aferições finalizadas. Todas as informações referentes ao consumo do usuário serão transmitidas para a nuvem e estarão permanentemente disponíveis através do *APP*.

#### 4.24 Diagrama de Atividades

Como parte da metodologia de modelagem, que normalmente antecede a codificação programacional do sistema, foi confeccionado o diagrama padrão UML, figura 31, que ilustra as atividades realizadas durante o procedimento de liberação do chuveiro para o banho do usuário. O diagrama em questão possui o formato de piscina com duas raias, que respectivamente exemplificam as atividades do sistema de autenticação e do sistema central no decorrer da utilização do chuveiro, desde a autenticação positiva do usuário, que o permite tomar seu banho até a finalização e registro de consumo dele.

Figura 32: Diagrama de Atividades do Sistema



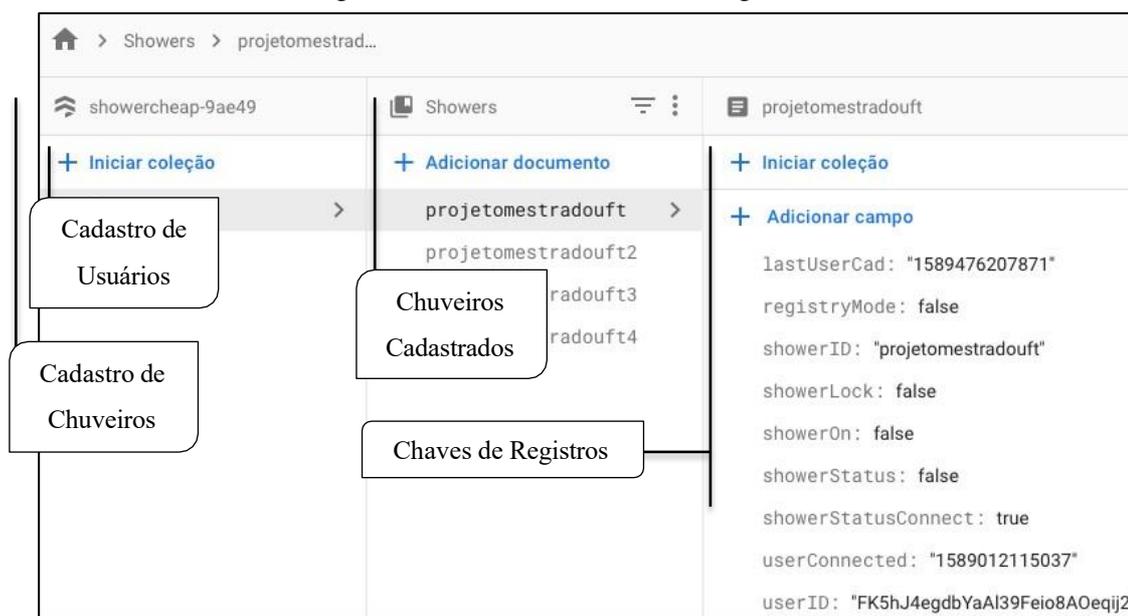
Fonte: Elaborado pelos autores

Percebe-se que, se o usuário não possuir cadastro dentro da base de dados, o sistema o ignora não liberando acesso ao banho. Logo após este procedimento o sistema de autenticação retoma o controle e mantém-se à espera de uma nova tentativa de verificação. Importa salientar que, o cadastro dos usuários realiza-se por intermédio de uma aplicação desenvolvida para ser instalada e executada em qualquer *smartphone* que possua sistemas operacionais *Google Android* ou *Apple iOS*.

#### 4.25 Persistência de Dados

O banco de dados escolhido para a persistência das informações geradas pelo sistema foi o *Firestore Database*, uma das ferramentas oferecidas pela Google em sua solução para aplicações móveis em nuvem conhecida como *Google Firebase*. Utilizando o paradigma de banco de dados não relacional, também conhecido por *NoSQL*, o *Firestore* proporciona uma melhor performance ao gerenciamento dos dados armazenados, devido ao fato de não haver necessidade de agrupamento em esquemas de tabelas, mas sim em coleções. A figura 32 trata-se de uma captura de tela do ambiente de administração web do *Google Firebase*, sendo que toda a estrutura de armazenamento do projeto segue hospedada nos servidores da Google.

Figura 33: Ambiente em nuvem do Google Firebase



Fonte: Elaborado pelos autores

O Google *Firebase* também trás outras facilidades para o desenvolvedor que deseja uma rápida implementação e lançamento de suas aplicações, dentre elas o *Authentication*, um pronto e completo sistema de autenticação que permite a validação e ingresso seguro de usuários e o *Storage*, que permite o upload e armazenamento de arquivos de qualquer tipo para que sejam usados nas aplicações. Ambas as soluções citadas foram empregues na implementação deste projeto a primeira para autenticar os usuários e a segunda para armazenamento das imagens eventualmente utilizadas na aplicação como interface com o usuário.

#### 4.26 Programação do sistema

A programação do protótipo em questão possui duas partes, uma delas para ser executada em *firmware*<sup>11</sup> de microcontroladores, como o Arduino e ESP32, que são utilizados no ambiente local do chuveiro, possibilitando o controle de acesso, aferição hidráulica, elétrica, cálculo de consumo e transmissão de dados ao banco de dados na Internet. A segunda parte da programação consiste na implementação de um painel de controle que possa ser instalado, executado e utilizado em sistemas operacionais de *smartphones* como Android e iOS.

<sup>11</sup> Também conhecido pela nomenclatura “*software embarcado*”, é um conjunto de instruções operacionais que são programadas diretamente no *hardware* de equipamentos eletrônicos.

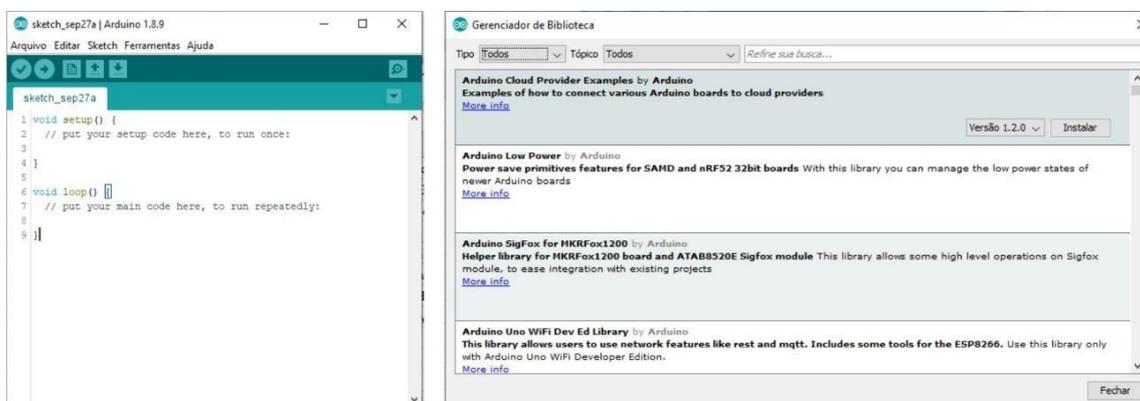
## 4.27 Ambiente de programação para os microcontroladores

Para a implementação dos códigos nos microcontroladores escolheu-se utilizar a *IDE*<sup>12</sup> de programação do próprio Arduino, um conjunto de ferramentas de programação bastante popular entre os projetistas de *hardware* computacional, entusiastas da tecnologia de programação embarcada e é compatível com todos os microcontroladores utilizados neste projeto, inclusive com ESP32.

A *IDE* do Arduino trás consigo um gerenciador de bibliotecas generosamente abastecido por milhares de desenvolvedores de diversos países, possibilitando a reutilização de códigos com funcionalidades já testadas por uma imensa comunidade de programadores. A utilização de uma *IDE* em um projeto possibilita, dentre outras facilidades, a de trazer agilidade ao desenvolvimento, ela fomenta com que o foco do desenvolvedor esteja no que “se deve fazer” e não tanto no “como se faz”.

A figura 33 é um print de tela da *IDE* Arduino, à esquerda a tela da janela de codificação, onde são escritos os códigos de programação e à direita a tela da janela do gestor de bibliotecas que possibilita encontrar milhares de códigos prontos para serem reutilizados.

Figura 34: IDE do Arduino - Gerenciador de bibliotecas



Fonte: Elaborada pelos autores

As bibliotecas aplicadas neste projeto seguem basicamente o uso dos componentes escolhidos para sua construção como o sensor de fluxo de água, sensor de corrente e o leitor de RFID. Outras bibliotecas para comunicação dos microcontroladores, entre si, e com a Internet, também foram necessárias. O quadro 10 relaciona as funcionalidades importantes para o protótipo

<sup>12</sup> *Integrated Development Interface* – Interface Integrada de Desenvolvimento.

e o endereço de suas respectivas bibliotecas. Importa salientar que muitos fabricantes de componentes suportam suas próprias bibliotecas, trazendo atualizações periódicas para as mesmas.

Quadro 9: Bibliotecas aplicadas na programação

BIBLIOTECAS APLICADAS	URL
Sensor de Fluxo de Água	<a href="https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire">https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire</a>
Sensor de Corrente	<a href="https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire">https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire</a>
Leitor Rfid	<a href="https://github.com/miguelbalboa/rfid">https://github.com/miguelbalboa/rfid</a>
Cliente HTTP	<a href="https://github.com/arduino-libraries/ArduinoHttpClient">https://github.com/arduino-libraries/ArduinoHttpClient</a>
Comunicação Serial Periférica	<a href="https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI">https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI</a>
Comunicação WiFi	<a href="https://www.arduino.cc/en/Reference/WiFi">https://www.arduino.cc/en/Reference/WiFi</a>

Fonte: Elaborada pelos autores

#### 4.28 Programação dos microcontroladores

Os microcontroladores utilizados se localizam em duas partes do protótipo, a saber, no sistema central e no sistema de autenticação. A maior complexidade do sistema central exigiu a utilização de um microcontrolador ESP32 e dois microcontroladores Arduino auxiliares. O sistema de autenticação possui somente um ESP32. Importa salientar que os arquivos de código fonte dos microcontroladores somam cerca de 1800 linhas escritas em linguagem C com uma média de 500 linhas de código por controlador, desta forma, foram transcritos somente algumas das funcionalidades estruturais mais importantes de cada um dos componentes. Todas as imagens de código fonte relacionadas, figuras 34 a 54, foram elaboradas pelos autores e extraídas da última versão funcional do sistema.

#### 4.29 Codificação do sistema central

O funcionamento do ESP32 do sistema central se baseia em controlar o funcionamento do chuveiro e aferir os dados de consumo de água e eletricidade através dos Arduinos auxiliares, que, por sua vez, efetuam a leitura e cálculo baseados nas tarifas de água e energia elétrica praticados na região onde o sistema está sendo utilizado. Na finalização do banho os Arduinos se comunicam com o ESP32, entregando os dados coletados e posteriormente o ESP32 envia estes dados para o banco de dados.

## 4.30 Código do sistema central

Espressif ESP32, programado com 780 linhas de código em linguagem C, conectado à internet via WiFi e aos aferidores Arduino por protocolo I2C através dos canais lógicos de comunicação nº 1 e nº 2 com pinagem de comunicação I2C nas portas D21 e D22. Figuras 35 a 39.

Figura 35: Parâmetros de conexão com a WiFi

```
//CONFIGURAÇÃO WIFI:
WiFiClient cliente;
const char * HOSTNAME = "showerCheap";
//HOTSPOT:
const char * networkName = "Casa 2.4G";
const char * networkPswd = "13121993";
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Parâmetros de acesso ao banco de dados remoto

```
//CONFIGURAÇÃO DO DATALOGGER REMOTO: FIREBASE
const char * SHOWERUID = "projetomestradoft";
const char * userConnected;
String addr = "";
int stateShower = 0;
bool showerStatusConnect = false;
bool flagTrue = false;
#define SHOWER_STOPED 15
String DATA_CSV;
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 36: Controle de saída de água

```
void waterFluxOn()
{
  digitalWrite(SOLENOIDE, HIGH);
  Serial.println("Comando remoto recebido: Ligar");
  //delay(5000);
}

void waterFluxOff()
{
  digitalWrite(SOLENOIDE, LOW);
  Serial.println("Comando remoto recebido: Desligar");
  dateTimeCloudUpdate();
  //delay(5000);
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 37: Informa término de banho e solicita dados de consumo aos aferidores

```
void dataSend()
{
    //MENSAGEM DE TÉRMINO DE BANHO PARA O AFERIDOR ELÉTRICO:
    Wire.beginTransmission(1);
    Wire.write(0);
    Wire.endTransmission();
    requestDataPower();

    //MENSAGEM DE TÉRMINO DE BANHO PARA O AFERIDOR HIDRÁULICO:
    Wire.beginTransmission(2);
    Wire.write(0);
    Wire.endTransmission();
    requestDataWater();

    delay(500);
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 38: Envio de dados de consumo ao banco de dados

```
void totalConsumptionCloudUpdate()
{
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
    {
        HTTPClient http;
        addr = "https://showercheap-9ae49.firebaseio.com/api/v1/users/" + String(userConnected);
        http.begin(addr);

        //Serial.println(userConnected);

        http.addHeader("Content-Type", "application/json");
        StaticJsonDocument<50> tempDocument;

        float consTot = powerCons + waterCons;

        tempDocument["consTot"] = String(consTot);

        char buffer[50];
        serializeJson(tempDocument, buffer);
        http.PATCH(buffer);
        http.end();
        delay(500);
    }
    else
    {
        Serial.println("");
        Serial.println("Sem conexão com a Internet!");
    }
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

### 4.31 Código do aferidor de eletricidade

Programado com 327 linhas de código em linguagem C, consiste em um microcontrolador Arduino Nano, conectado à central por protocolo I2C através do canal lógico de comunicação nº 1 com pinagem de comunicação nas portas A4 e A5. O sensor de corrente elétrica ACS712, retorna valores analógicos e se conecta através do pino de entrada analógica A0. Figuras 40 a 45.

Figura 39: Parâmetros para cálculo de consumo elétrico

```
CÁLCULO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA:

TARIFAS:
ANEEL - R$0,35806
ENERGISA - R$0.60080 + IMPOSTOS(~45%) = R$0.868610

RELAÇÃO JOULES x KWH:
1KWH = 1J/36000000

EQUAÇÃO:
E(R$) = ((MEDIAPOTENCIA(W) x TEMPO(S))/3600000) x TARIFA(R$)
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 40: Aferição de corrente elétrica (parte 1)

```
float afereCorrente()
{
    double maior_valor = 0;
    double valor_corrente = 0;
    float tensao = 220;
    float potencia = 0;

    for(int i = 0; i < 29; i++)
    {
        vetCorrente[i] = analogRead(A0);
        delayMicroseconds(600);
    }

    for(int i = 0; i < 29; i++)
    {
        if(maior_valor < vetCorrente[i])
        {
            maior_valor = vetCorrente[i];
        }
    }
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 41: Aferição de corrente elétrica (parte 2)

```
maior_valor = maior_valor * 0.004882812;
valor_corrente = maior_valor - 2.5;
valor_corrente = valor_corrente * 1000;
valor_corrente = valor_corrente / 66; //sensibilidade : 66mV/A para ACS712 30A / 185mV/A para ACS712 5A
valor_corrente = valor_corrente / 1.41421356;
if(valor_corrente <= 0.500)
{
  valor_corrente = 0;
}
Serial.println();
Serial.print("Corrente = ");
Serial.print(valor_corrente);
Serial.println(" A");

potencia = valor_corrente * tensao;

Serial.print("Potencia = ");
Serial.print(potencia);
Serial.println(" W");

Serial.print(".");
delay(100);
Serial.print(".");
delay(100);
Serial.print(".");
delay(100);

Serial.println("");

return potencia;
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 42: Cálculo do consumo elétrico baseado no tempo e potência (parte 1)

```
// FINALIZA AS COLETAS E REALIZA CÁLCULO DE CONSUMO
void fechaConta()
{
    Serial.println();
    Serial.print("Tempo: ");
    Serial.print(tempo_minutos);
    Serial.print(" minutos");
    Serial.println();
    float E = 0;
    float media_potencia = 0;

    for (size_t index = 0; index < count; index++)
        media_potencia = media_potencia + list[index];

    media_potencia = media_potencia/tempo_minutos;
    powerPot = media_potencia;

    Serial.println();
    Serial.print("Media Potência: ");
    Serial.print(media_potencia);
    Serial.print(" W");
    Serial.println();

    powerPot = media_potencia;

    //CÁLCULO DE CONSUMO: tempo_minutos é dado em minutos e só conta se o chuveiro estiver consumindo...

    Serial.println();
    Serial.print("Tarifa: R$");
    Serial.print(TARIFA);
    Serial.println();
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 43: Cálculo do consumo elétrico baseado no tempo e potência (parte 2)

```
if(tempo_minutos != 0)
{
    E = (((media_potencia * (tempo_minutos*60))/3600000) * TARIFA);
    powerCons = E;
}
else E = 0.00;
delete[] list;
CreateList(1); //inicializa vetor dinâmico
Serial.println();
Serial.print("Consumo Total: R$");
Serial.print(E);
Serial.println();
Serial.println();
Serial.println("Banho Concluído!");
Serial.println();
tempo = tempo_minutos;
tempo_minutos = 0;
concluir = true;
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 44: Resposta à central com os dados obtidos após a finalização do banho

```

void requestEvent()
{
  Serial.println("Enviando dados do banho...");

  dtostrf(tempo, 5, 2, t);
  dtostrf(powerPot, 5, 2, p);
  dtostrf(powerCons, 5, 2, c);

  Serial.println(t);
  Serial.println(p);
  Serial.println(c);

  sprintf(strSend, "%s ; %s ; %s ; " ,t,p,c);
  Wire.write(strSend);
  Serial.println(strSend);
}

```

Fonte: Elaborado pelos autores

### 4.32 Código do aferidor de água

Arduino Nano, programado com 244 linhas de código em linguagem C, conectado à central por protocolo I2C através do canal lógico de comunicação nº 2 com pinagem de comunicação nas portas A4 e A5. O sensor de fluxo YF-S201 utiliza o pino digital nº 2 e retorna pulsos digitais que são aferidos através de interrupções de *hardware*. Figuras 46 a 48.

Figura 45: Parâmetros para cálculo do consumo hidráulico

```

CÁLCULO DE CONSUMO DE ÁGUA:

TARIFAS BRK:
R2 - R$6.18(11-15MC)
R3 - R$7.91(16-20MC)

RELAÇÃO MCxL
1L = 0.001MC
1MC = 1000L

Ex. Tarifa R2: A cada 1000L = 1MC → R$6.18

EQUAÇÃO:
A(R$) = (V(L) x 0.001) x TARIFA(R$)

```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 46: Aferição do fluxo hidráulico

```
void afereAgua()
{
  if((millis() - oldTime) > 1000)
  {
    detachInterrupt(sensorInterrupt);
    flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) / calibrationFactor;
    oldTime = millis();
    flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;
    totalMilliLitres += flowMilliLitres;
    unsigned int frac;
    Serial.println();
    Serial.print("Fluxo de água: ");
    Serial.print(int(flowRate));
    Serial.print("L/min");
    Serial.print("\t");
    Serial.print("Quantidade de água utilizada: ");
    litres = totalMilliLitres/1000;
    Serial.print(litres);
    Serial.println(" Litros");
    Serial.println();

    // CALCULA VALOR GASTO EM REAIS MEDIANTE TARIFA DA CONCESSIONÁRIA:

    A = ((totalMilliLitres/1000) * 0.001) * R2;
    Serial.print("Valor do consumo: R$");
    Serial.println(String(A));

    pulseCount = 0;

    attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);
  }
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 47: Resposta à central após a finalização do banho

```
void requestEvent()
{
  Serial.println("Enviando dados do banho..");

  dtostrf(flowRate, 6, 2, q);
  dtostrf(litres, 6, 2, g);
  dtostrf(A, 6, 2, a);
  sprintf(strSend, "%s ; %s ; %s ; ",q,g,a);
  Wire.write(strSend);
  Serial.println(strSend);
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

### 4.33 Codificação do sistema de autenticação

O encargo do microcontrolador Espressif ESP32 utilizado no sistema de autenticação consiste basicamente em ler um código contido em uma tag RFID e verificar se o mesmo está cadastrado e vinculado a algum usuário do chuveiro, em caso positivo o sistema é liberado para banho. Da mesma forma como também notifica a finalização do banho no momento em que a tag RFID do usuário é lida pela segunda vez. Ademais é de responsabilidade do sistema de autenticação o cadastro de uma nova tag RFID, que caracteriza a admissão de um novo usuário para uso do chuveiro.

### 4.34 Código do sistema de autenticação

Com 521 linhas de código em linguagem C, o sistema é conectado à internet via WiFi e ao leitor RFID através do protocolo SPI utilizando os pinos de comunicação 5, 16, 18 e 22. Figuras 49 a 55.

Figura 48: Parâmetros de conexão com a WiFi

```
//CONFIGURAÇÃO WIFI:
WiFiClient cliente;
const char * HOSTNAME = "showerCheap";
#define LED_CONNECT 13

//HOTSPOT:
const char * networkName = "Casa 2.4G";
const char * networkPswd = "13121993";

//CONFIGURAÇÃO DO DATALOGGER REMOTO: FIREBASE
const char * SHOWERUID = "projetomestradouft";
const char * lastUserCad;
int stateShower = 0;
bool showerStatusConnect = false;
bool showerOn = false;
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 49: Leitura da tag RFID (parte 1)

```
unsigned long leituraDados()
{
  //imprime os detalhes tecnicos do cartão/tag
  //mfr522.PICC_DumpDetailsToSerial(&(mfr522.uid));

  //pega o UID do cartão
  unsigned long card_uid;
  card_uid = mfr522.uid.uidByte[0] << 24;
  card_uid += mfr522.uid.uidByte[1] << 16;
  card_uid += mfr522.uid.uidByte[2] << 8;
  card_uid += mfr522.uid.uidByte[3];

  //Prepara a chave - todas as chaves estão configuradas para FFFFFFFFh (Padrão de fábrica).
  for (byte i = 0; i < 6; i++)
    key.keyByte[i] = 0xFF;

  //buffer para colocar os dados lidos
  byte buffer[SIZE_BUFFER] = {0};

  //variavel char que recebe os dados do buffer
  char id[MAX_SIZE_BLOCK] = {0};

  //bloco que faremos a operação
  byte bloco = 1;
  byte tamanho = SIZE_BUFFER;

  //variável de negacao de acesso
  int deny = 0;
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 50: Leitura da tag RFID (parte 2)

```
//faz a autenticação do bloco que vamos operar
status = mfr522.PCD_Authenticate(MFRC522::PICC_CMD_MF_AUTH_KEY_A, bloco, &key, &(mfr522.uid));
if (status != MFRC522::STATUS_OK) {
  Serial.print(F("Authentication failed: "));
  Serial.println(mfr522.GetStatusCodeName(status));
  digitalWrite(pinVermelho, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(pinVermelho, LOW);
  return 0;
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 51: Leitura da tag RFID (parte 3)

```
//faz a leitura dos dados do bloco
status = mfr522.MIFARE_Read(bloco, buffer, &tamanho);
if (status != MFRC522::STATUS_OK) {
  Serial.print(F("Reading failed: "));
  Serial.println(mfr522.GetStatusCodeName(status));
  digitalWrite(pinVermelho, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(pinVermelho, LOW);
  return 0;
}
else{
  digitalWrite(pinAmarelo, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(pinAmarelo, LOW);
}

//Serial.println(card_uid);
return card_uid;
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 52: Registro de novo usuário

```
void cloudUserTagRegister()
{
  cloudGetShowerData();
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
  {
    HTTPClient http;
    String addr = "https://showercheap-9ae49.firebaseio.com/api/v1/users/" + String(lastUserCad);
    Serial.println("TagRegister");
    Serial.println(addr);
    http.begin(addr);
    http.addHeader("Content-Type", "application/json");
    StaticJsonDocument<50> tempDocument;
    tempDocument["tagUID"] = UID_CARD;
    Serial.println("");
    Serial.println("Atualizando TagUID do Usuário: " + String(UID_CARD));
    char buffer[50];
    serializeJson(tempDocument, buffer);
    http.PATCH(buffer);
    http.end();
    delay(500);
  }
  else
  {
    Serial.println("");
    Serial.println("Sem conexão com a Internet!");
  }
}
}
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 53: Autenticação no sistema (parte 1)

```
void showerWaterSwitch(int state)
{
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
  {
    HTTPClient http;
    http.begin("https://showercheap-9ae49.firebaseio.com/api/v1/showers/projetomestradoft");

    http.addHeader("Content-Type", "application/json");
    StaticJsonDocument<50> tempDocument;
    char buffer[50];
    serializeJson(tempDocument, buffer);
    http.PATCH(buffer);
    http.end();
    //delay(500);
  }
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
  {
    HTTPClient http;
    String addr = "https://showercheap-9ae49.firebaseio.com/api/v1/showers/" + String(SHOWERUID);
    http.begin(addr);

    http.addHeader("Content-Type", "application/json");
    StaticJsonDocument<50> tempDocument;
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 54: Autenticação no sistema (parte 2)

```

if(state)
  tempDocument["showerOn"] = true;
else
  tempDocument["showerOn"] = false;

char buffer[50];
serializeJson(tempDocument, buffer);
http.PATCH(buffer);
http.end();
//delay(500);
}
else
{
  Serial.println("");
  Serial.println("Sem conexão com a Internet!");
}
}
}

```

Fonte: Elaborado pelos autores

### 4.35 Custo do protótipo

A tabela 2 elenca todos os componentes físicos utilizados na construção do projeto, suas descrições, quantidades, custos unitários e totais.

Tabela 2: Custo do protótipo

Item	Descrição	Custo R\$	Quantidade	Total R\$
1	Sensor YF-S201	30,23	1	30,23
2	Sensor ACS712/30A	18,00	1	18,00
3	Válvula Hidráulica Solenoide 220V	48,90	1	48,90
4	Microcontrolador Esp32 DevKit	38,00	1	38,00
5	Microcontrolador Esp32 Lolin	25,17	1	25,17
6	Microcontrolador Arduíno Nano	41,90	2	83,80
7	Mini Fonte de Alimentação 220VAC / 5VDC	25,30	1	25,30
8	Relé 5V / 10A	14,19	1	14,19
9	Placa Lógica - Level Shifter 4 vias	17,39	1	17,39
10	Conexão de PVC – Luva ½ Polegada	1,25	2	2,50
11	Tomada Elétrica 20A Fêmea de sobrepor	12,23	1	12,23
12	Tomada Elétrica 20A Macho	5,25	1	5,25
13	Protoboard 170 pontos	9,50	7	66,50
14	Fios e cabos diversos	35,00	1	35,00
15	Led cores diversas	2,50	6	15,00
16	Interruptor	7,50	2	15,00
17	Leitora RFID RC522	19,99	1	19,99
18	Bateria 5000mAh PN-905	42,00	1	42,00
19	Chuveiro convencional 220V / 3200W	47,69	1	47,69
20	Arandela 200x90x130(mm)	49,50	1	49,50
21	Caixa hermética padrão 124x85x53(mm)	38,20	1	38,20
<b>TOTAL GERAL R\$</b>				<b>649,84</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

## 4.36 Protótipo

Figura 55: Sistema montado em ambiente doméstico (Detalhe do chuveiro)



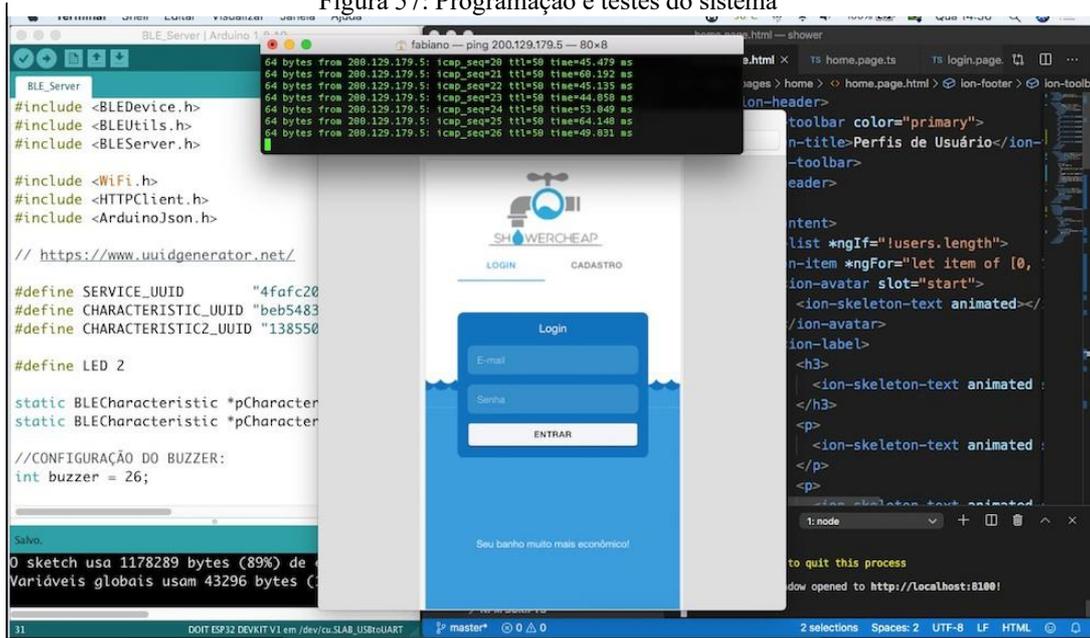
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 56: Sistema montado em ambiente doméstico (Detalhe do painel)



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 57: Programação e testes do sistema



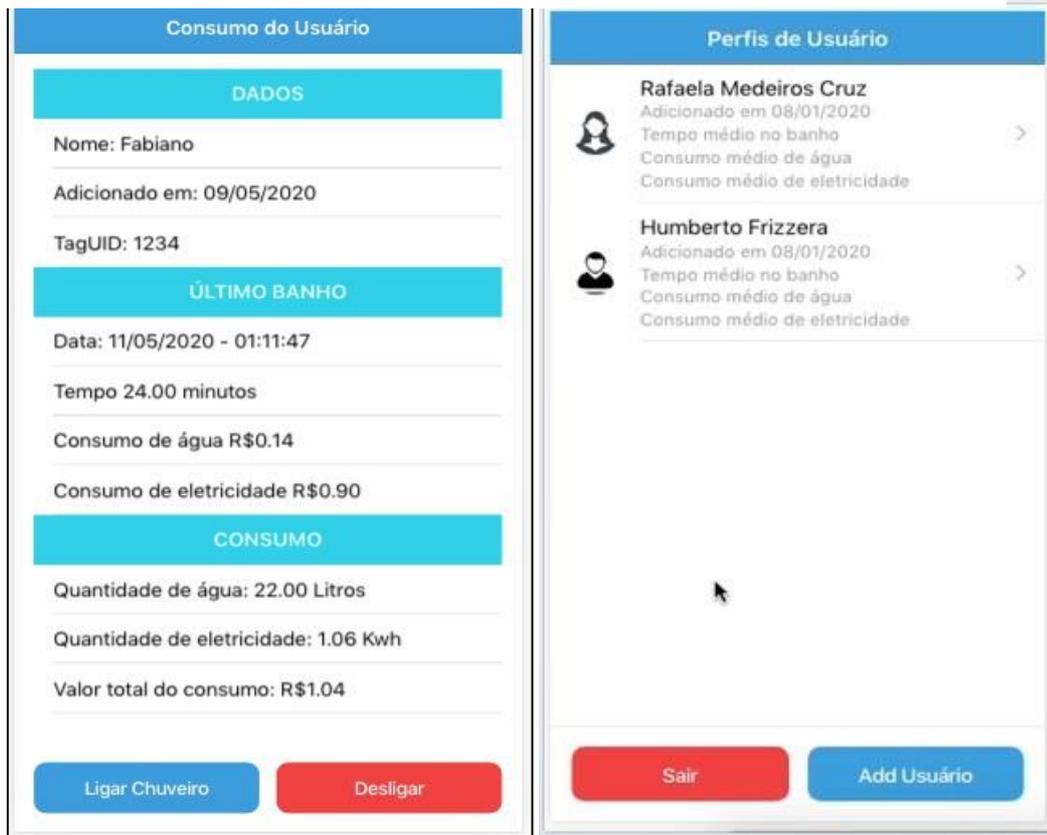
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 58: APP para iPhone – Tela de autenticação



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 59: APP para iPhone – Dados dos usuários



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 60: Tela de cadastro de Tag



Kit ShowerCheap



Fonte: Arquivo pessoal

#### 4.37 Conclusões

O presente trabalho abordou a prototipação e implementação de um sistema complexo baseado em sistemas embarcados, versátil e de baixo custo, com a capacidade de aferir e armazenar em tempo real a quantidade de água e eletricidade gasta por um chuveiro durante um banho em uma base de dados *online*, identificando individualmente o usuário e vinculando a ele os dados a respeito de seu consumo, diretamente em moeda corrente, baseando-se nas tarifas locais vigentes de água e energia elétrica, trazendo os dados em uma aplicação para *smartphones*.

Se torna evidente a importância de um sistema como tal, trazendo à lume o consumo real de um banho, possibilitando a tomada de decisão por parte do consumidor, inferindo conhecimento à economia familiar e incrementando dados a pesquisadores da área. A versatilidade de um sistema sem fios incorpora ao projeto grandes possibilidades e facilidade instalação, enquanto a visualização de dados por parte do usuário encontra-se na palma de sua mão. No intuito de prospecção do presente, destacam-se, no entanto, a seguir, alguns pontos a serem verificados.

A deficiência de Internet no local possibilita o não funcionamento do equipamento, sendo que o mesmo trabalha em modo *online* somente, trazendo um obstáculo significativo para o projeto em questão. Complicação que poderá ser contornada com a comunicação local através da tecnologia *bluetooth*, também disponível nos microcontroladores ESP32, ou até mesmo a tecnologia própria da Espressif chamada de ESP-NOW, na qual os microcontroladores se comunicam localmente através de uma rede sem fio *ad-hoc*.

A falta de energia elétrica também é um complicador a ser considerado, sendo que o sistema principal do chuveiro trabalha com este tipo de alimentação. Como possibilidade de contorno desta privação, há a possibilidade de o sistema possuir uma chave mecânica para um circuito hidráulico de *bypass*, através da qual o registro solenóide possa ser contornado para que haja a possibilidade de um banho em água fria sem aferição.

A respeito do custo final do sistema, sua montagem em placas de fenolite cobreadas também trariam uma economia considerável em seu custo final, suprimindo as *protoboards* e fios, utilizados neste ensaio em vias de prototipação, impelindo uma proposta com característica profissional como preparo para uma linha de produção seriada do produto final. Outra possibilidade de economia seria a utilização de impressão 3D para manufatura das estruturas de acomodação do sistema.

#### 4.38 Trabalhos futuros

Como uma proposta para incremento do sistema consta a possibilidade de melhoramento no funcionamento do sistema central, implementando a viabilidade de controle do sistema utilizando-se de plataformas de inteligência artificial ligadas à domótica, como por exemplo os assistentes com comando de voz, trazendo com eles acesso a funcionalidades como abertura, controle de fluxo de água e de temperatura do chuveiro através da fala do usuário.

Outra área interessante a ser explorada é a gamificação, que é a aplicação de estratégias de jogos nos afazeres do dia a dia, e neste projeto específico, trazendo o objetivo de aumentar o interesse e compromisso dos usuários do chuveiro a fazer uso consciente do banho, sendo que, por exemplo, os usuários que possuírem maior ranking no consumo de água e energia estarão propensos a realizarem tarefas domésticas tanto quanto indesejáveis como dar banho em pets, recolher lixo, fazer limpezas em geral, como lavar louças, banheiros, automóveis, etc.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, HUMBERTO XAVIER; TAVARES, FABIANO MEDEIROS; FRIZZERA, HUMBERTO COSTA; SANTOS, GEORGE F.; BARBOSA, GENTIL VELOSO. **Development of Communication Between Esp32 and Arduino Platforms, Using a Logic Level and Voltage Correction System**. IJDR, Vol. 10, Issue 08, p. 39358-39361, Agosto, 2020.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

BARROS, A. J. DA S.; LEHFELD, N. A. DE S. **Fundamentos de metodologia científica**. 3º ed. São Paulo, SP: Pearson, 2007.

EVANS, D. The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. **CISCO white paper**, v. 1, n. 2011, p. 1–11, 2011.

GARTNER, G. **Radio-frequency Identification (rfid)**. Gartner. c2020. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/radio-frequency-identification-rfid>>. Acesso em: 25/02/2021.

GIELEN, G. **Design of low-power sensor interfaces in the IoT era**. 2015 6th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI). Anais p.173–173, 2015. Gallipoli: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7184950/>>. Acesso em: 21/6/2019.

LI, D.; LIU, S. **Wireless Sensor Networks in Water Quality Monitoring**. Water Quality Monitoring and Management. p.55–100, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128113301000028>>. Acesso em: 24/6/2019.

MARTINS, A. B.; COSTA, C. C. R. DA; AZEVEDO, M. T. DE; KOFUJI, S. T. **Gerenciamento da água com internet das coisas (IoT): uma aplicação em plantas de saneamento**. , v. 4, n. 2, 2017. Disponível em: <<http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/revistas/index.php/Collectivus/article/view/1913/2075>>. Acesso em: 28/6/2019.

MEIRELLES, F. DE S. **30º Pesquisa Anual do Uso de TI**. São Paulo, SP: FVG, 2019.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. **Towards a definition of the Internet of Things (IoT)**. IEEE, 2015.

PULE, M.; YAHYA, A.; CHUMA, J. **Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality**. Journal of Applied Research and Technology, v. 15, n. 6, p. 562–570, 2017.

RAMOS, A. L. B. M. **Metodologias de Desenvolvimento de Sistemas**. Rio de Janeiro: Estácio, 2017.

SALVADOR, Â. D. **Métodos e técnicas de pesquisa bibliográfica, elaboração e relatório de estudos científicos**. 9º ed. Porto Alegre: Sulina, 1981.

VILAÇA, M. **Pesquisa e ensino: considerações e reflexões**., v. 1, n. 2, 2010. Disponível em: <[https://revista.uniabeu.edu.br/index.php/RE/article/view/26/pdf\\_23](https://revista.uniabeu.edu.br/index.php/RE/article/view/26/pdf_23)>. Acesso em: 21/6/2019.

WEISER, M. **The computer for the 21st Century**. IEEE Pervasive Computing, v. 1, n. 1, p. 19–25, 2002.

ZOTERO.ORG. **Zotero. Your personal research assistant**. 2019.