

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉ PORTES FERRIANI

**ECO-CISTERNA: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO DE AUTOMAÇÃO
PARA COLETA DA ÁGUA PLUVIAL EM AMBIENTE RESIDENCIAL**

CURITIBA

2023

ANDRÉ PORTES FERRIANI

**ECO-CISTERNA: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO DE AUTOMAÇÃO
PARA COLETA DA ÁGUA PLUVIAL EM AMBIENTE RESIDENCIAL**

**ECO TANK: DEVELOPMENT OF AN AUTOMATION SOLUTION FOR
RAINWATER HARVESTING IN A RESIDENCIAL ENVIRONMENT**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Douglas Paulo Bertrand Renaux

CURITIBA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANDRÉ PORTES FERRIANI

**ECO-CISTERNA: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO DE AUTOMAÇÃO
PARA COLETA DA ÁGUA PLUVIAL EM AMBIENTE RESIDENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Eletrônica da Engenharia
Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 14/Setembro/2023

Douglas Paulo Bertrand Renaux
Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carmen Caroline Rasera
Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rubens Alexandre de Faria
Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família pelo apoio fornecido durante o período de graduação e pela disponibilidade em momentos importantes.

Congratulo ao Prof. Dr. Douglas Paulo Bertrand Renaux, por ser um orientador que exerceu seu papel de maneira assídua.

Reconheço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela formação acadêmica fornecida durante os anos da graduação, assim como todas as disciplinas opcionais e atividades extracurriculares, cuja importância é essencial para o desenvolvimento de uma carreira profissional

RESUMO

A disponibilidade de água para uso potável e não potável é um componente essencial da vida humana e sua racionalização aliada a um uso consciente é um tema recorrente para todo o planeta. Este trabalho visa o desenvolvimento de um produto capaz de gerenciar a coleta, tratamento e utilização da água coletada da chuva para uso não potável automático. No mercado atual de produtos para a coleta dessa água pluvial para consumidores residenciais e comerciais, há inúmeras soluções que apresentam a predominância de processos manuais e baixa presença de soluções automatizadas, sendo a intervenção humana intensa neste processo. Com a possibilidade de inovação neste grupo de produtos, este trabalho propõe a elaboração de um protótipo de um produto comercial que automatiza processos relevantes na coleta, tratamento e utilização dessa água. Adicionalmente, a partir da utilização de diversos atuadores, sensores e tecnologias em *software* embarcado, o gerenciamento do volume de água do tanque é realizado de maneira autônoma. Durante o desenvolvimento do protótipo em questão, testes unitários, funcionais, não funcionais, de conformidade e de usuário foram realizados de acordo com os requisitos do produto. O produto apresentou resultados satisfatórios, mesmo com as dificuldades e as diversas funcionalidades propostas. Este protótipo tem relevância elevada para a automação de processos relativos à coleta, tratamento e utilização da água da chuva, pois possibilita a automação de um processo relevante considerando o ambiente socioeconômico do planeta.

Palavras-chave: ecologia; automação; sistema embarcado; reutilização; recurso hídrico.

ABSTRACT

The availability of water for drinking and non-potable use is an essential component of human life and its rationalization combined with a conscious use is a recurrent theme for the entire planet. This work aims to develop a product capable of managing the collection, treatment and use of rainwater collected for automatic non-potable use. In the current market of products for rainwater harvesting for residential and commercial consumers, there are numerous solutions that present the predominance of manual processes and low presence of automated solutions, being the human intervention intense in this process. With the possibility of innovation in this group of products, this work proposes the development of a prototype of a commercial product that automates relevant processes in the collection, treatment and use of rainwater. Additionally, by using several actuators, sensors, and embedded software technologies, the management of the tank's water volume is done autonomously. During the development of the prototype in question, unit, functional, non-functional, compliance, and user tests were performed according to the product requirements. The product presented satisfactory results, even with the difficulties and the various functionalities proposed. This prototype has high relevance for the automation of processes related to the collection, treatment, and use of rainwater, because it enables the automation of a relevant process considering the planet's socioeconomic environment.

Keywords: ecology; automation; embedded system; reuse; water resource.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo Hidrológico	13
Figura 2 – O Brasil e a crise hídrica no ano de 2021	15
Figura 3 – Cisterna Vertical Modular 600 Litros para reuso de água	16
Figura 4 – <i>Commercial Rainwater Harvesting Systems</i>	17
Figura 5 – Cisterna Vertical aparente 750L com filtro e clorador	18
Figura 6 – Separador de fluxo Fortlev.....	21
Figura 7 – Sistema de captação e seus componentes	22
Figura 8 – Etapas de Tratamento da água Cinza	26
Figura 9 – Conceito de processo	27
Figura 10 – Placa de Desenvolvimento Tiva EK-TM4C1294XL	29
Figura 11 – Conceito e Abstração de Sensor.....	30
Figura 12 – Sensor de temperatura LM35.....	31
Figura 13 – Diagrama de componentes de um sensor capacitivo	31
Figura 14 – Sensor de Detecção de Água Capacitivo XKC-Y25-V	32
Figura 15 – Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	32
Figura 16 – Conceito e Abstração de Atuadores em processos	33
Figura 17 – Bomba de Água Submersível 12V DC30A-1230	34
Figura 18 – Micro Bomba de Água 12V JSB.....	34
Figura 19 – Circuito de chaveamento	35
Figura 20 – Impressora 3D Anycubic Kobra Max.....	36
Figura 21 – Implementação física do sensor LM35	44
Figura 22 – BOOSTXL-EDUMKII BoosterPack	48
Figura 23 – Interface do modo de operação genérico	50
Figura 24 – Interface do modo de operação Coleta	50
Figura 25 – Interface do modo de operação Remoção.....	51
Figura 26 – Interface do modo de operação Controle do Nível	51
Figura 27 – Interface do modo de operação Tratamento de Água	51
Figura 28 – Interface do modo de operação Leitura de Temperatura	52
Figura 29 – Diagrama de Objetos UML da Eco Cisterna	52
Figura 30 – Concepção do protótipo proposto	54
Figura 31 – Diagrama do sistema e ambiente de utilização.....	54
Figura 32 – Diagrama de caso de uso <i>UML</i> da Eco Cisterna.....	56

Figura 33 – Diagrama de atividade UML dos modos da Eco Cisterna	57
Figura 34 – Diagrama de estados UML do modo automático da Eco Cisterna .	60
Figura 35 – Diagrama de sequência UML das funções da Eco Cisterna	61
Figura 36 – Diagrama de estados UML do modo manual da Eco Cisterna.....	63
Figura 37 – Diagrama de atividade UML do acionamento dos pinos de leitura	65
Figura 38 – Diagrama de atividade UML do acionamento dos pinos <i>AD/DA</i>.....	65
Figura 39 – Diagrama de atividade UML do acionamento dos pinos I2C	66
Figura 40 – Diagrama de atividade UML do acionamento dos pinos de saída..	66
Figura 41 – Esquemático da Placa Conectora	68
Figura 42 – Disposição dos componentes da Placa Conectora	68
Figura 43 – Visão Superior 3D da Placa Conectora	69
Figura 44 – Visão Inferior 3D da Placa Conectora	69
Figura 45 – Visão externa do filtro proposto	70
Figura 46 – Visão expandida do filtro proposto	71
Figura 47 – Subcomponentes do filtro posto	71
Figura 48 – Composição física da Eco Cisterna	72
Figura 49 – Visão externa do encapsulamento do trabalho.....	72
Figura 50 – Visão explodida do encapsulamento do trabalho.....	73
Figura 51 – Placa conectora montada.....	74
Figura 52 – Protótipo Mecânico.....	74
Figura 53 – Protótipo de Controle Aberto.....	75
Figura 54 – Protótipo de Controle Fechado	75
Figura 55 – Protótipo Final do Sistema.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Analog to Digital Converter (Conversor Analógico Digital)
ANAP	Associação Amigo da Natureza de Alta Paulista
BJT	<i>Bipolar Junction Transistors</i> (Transistor de Junção Bipolar)
CA	Corrente Alternada
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CPU	<i>Central Processing Unit</i> (Unidade Central de Processamento)
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i> (Conversor Digital Analógico)
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Direta)
EEPROM	<i>Electronic Erasable Programmable Read Only Memory</i> (Memória Programável de Leitura Apagável Eletronicamente)
FR	<i>Functional Requirement</i>
GND	<i>Ground</i> (Terra)
GPIO	<i>General Purpose Input Output</i> (Entrada/Saída de Uso Geral)
I/O	<i>Input/Output</i> (Entrada/Saída)
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
ICDI	<i>In-Circuit Debug Interface</i> (Interface de Depuração Interna ao circuito)
IGES	<i>Initial Graphics Exchange Specification</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JFET	<i>Junction Field-Effect Transistors</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Display de Cristal Líquido)
LED	<i>Light Emission Diode</i> (Diodo de emissão de luz)
MB	<i>Megabyte</i>
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors</i>

NFR	<i>Non Functional Requirement</i>
pH	Potencial de Hidrogênio
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Randômico)
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> (Interface Periférica Serial)
STL	<i>Standard Triangle Language</i>
T	<i>Timer</i> (Timeres)
TBJ	Transistor de Junção Bipolar
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TXM	<i>The Next Methodology</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver / Transmitter</i> (Transmissão/Recepção Universal Assíncrona)
μC	Microcontroler (Microcontrolador)
UERJ	Universidade Estadual de Rio de Janeiro
UFA	Universidade Federal do Amazonas
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNIPAC	Universidade Presidente Antônio Carlos
UNIVATES	Universidade do Vale do Taquari
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VAC	Tensão em Corrente Alternada
VCC	Voltage Common Collector (Tensão de coletor comun)
VDC	Voltage Direct Current (Tensão de corrente direta)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 Justificativa	19
1.3 Estrutura do Trabalho	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Captação da água pluvial	21
2.1.1 Cisterna	22
2.1.2 Contaminação da Água Pluvial	23
2.1.3 Indicadores Físico-químicos da Água	23
2.1.4 Filtragem da Água Pluvial	24
2.1.5 Sanitização da Água	25
2.2 Automação de Processo	26
2.2.1 Microcontrolador	27
<u>2.2.1.1 Tiva EK-TM4C1294XL</u>	<u>29</u>
2.2.2 Sensores e Transdutores	29
<u>2.2.2.1 Sensor de Temperatura</u>	<u>30</u>
<u>2.2.2.2 Sensor de Detecção de Presença de Água</u>	<u>31</u>
<u>2.2.2.3 Sensor Ultrassônico</u>	<u>32</u>
2.2.3 Atuadores	33
<u>2.2.3.1 Bomba de Água</u>	<u>33</u>
<u>2.2.3.2 Circuito de Chaveamento</u>	<u>34</u>
2.3 Impressão 3D	35
2.4 Desenvolvimento de software	36
3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO	38
3.1 Análise do Problema	38
3.2 Proposta de Solução	39
3.2.1 Concepção do Sistema (Eco Cisterna)	40
3.2.2 Requisitos do Sistema	41
3.2.3 Componentes do Sistema	42
<u>3.2.3.1 Sensor de Temperatura LM 35</u>	<u>43</u>
<u>3.2.3.2 Sensor de Detecção de Presença de Água Capacitivo XKC-Y25-V</u>	<u>44</u>

3.2.3.3 Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	45
3.2.3.4 Bomba de Água Submersível 12V DC30A-1230	45
3.2.3.5 Bomba de Água Micro 12V JSB.....	46
3.2.3.6 Módulo Relé 5V com 4 Canais com Optoacoplador	46
3.2.3.7 Fonte 12VDC	47
3.2.3.8 Fonte 5VDC	47
3.2.3.9 Tiva EK-TM4C1294XL	47
3.2.3.10 BOOSTXL-EDUMKII Educational BoosterPack™ Plug-in Module Mark II	48
3.2.4 Regras de negócio da Eco Cisterna	49
3.2.5 Interface com o usuário	49
3.2.6 Estrutura da Eco Cisterna	52
3.3 Design do Sistema.....	53
3.3.1 Descrição Funcional da Eco Cisterna	53
3.3.2 Modos de Operação do Sistema.....	56
3.3.2.1 Fluxo Automático	57
3.3.2.2 Fluxo Manual	60
3.3.3 Desenvolvimento do <i>Firmware</i>	63
3.3.3.1 Desenvolvimento da Interface com Sensores.....	64
3.3.3.2 Desenvolvimento da Interface com Atuadores.....	66
3.3.3.3 Desenvolvimento da Máquina de Estados	67
3.3.4 Desenvolvimento do Hardware	67
3.3.5 Desenvolvimento do Protótipo da Eco Cisterna.....	69
3.3.5.1 Desenvolvimento do Filtro	70
3.3.5.2 Desenvolvimento do Protótipo do Controlador	71
3.4 Implementação do Protótipo	73
3.4.1 Implementação da placa eletrônica conectora.....	73
3.4.2 Implementação do protótipo mecânico	74
3.4.3 Implementação da caixa de controle	75
3.4.4 Implementação final do sistema	76
4 TESTES.....	77
4.1 Testes de unidades dos componentes	77
4.1.1 Testes da placa eletrônica conectora	77
4.1.2 Testes de bancada do sistema	78
4.1.3 Testes do <i>firmware</i>	78
4.1.4 Testes da montagem mecânica	78

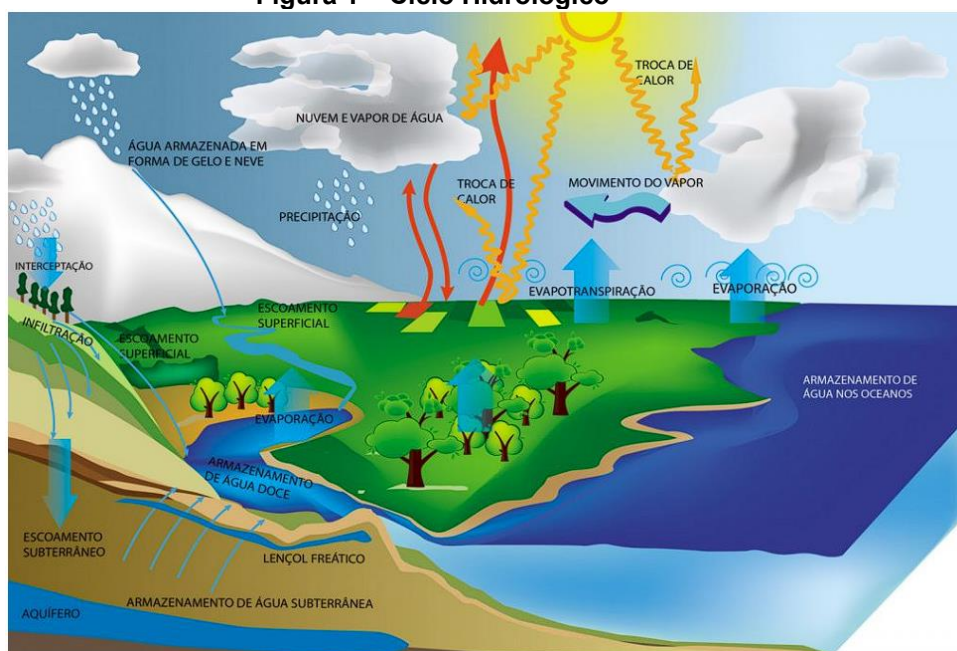
4.1.5 Testes da montagem do protótipo final.....	79
4.2 Testes de integração de componentes.....	79
4.3 Testes de validação do sistema	79
4.3.1 Estado automático inicial do sistema	79
4.3.2 Estado automático bloqueado do sistema	80
4.3.3 Estado automático de remoção do sistema	81
4.3.4 Estado automático de coleta do sistema	82
4.3.5 Estado automático de controle do sistema	83
4.3.6 Estado automático de tratamento do sistema	83
5 DISCUSSÕES	85
6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVA.....	86
6.1 Trabalhos Futuros	86
REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos essenciais para a vida humana que está abundantemente presente no globo terrestre. A água ocupa cerca de 80% da superfície do planeta Terra, porém apenas 3% são de água doce. Todavia, aproximadamente 80% deste volume se encontra nas calotas polares do Oceano Ártico e regiões de difícil acesso, sendo apenas 20% de toda água doce do planeta de fácil acesso e de disponibilidade rápida (BERTOLO, 2006).

O volume total de água existente no planeta Terra é segmentado em três estados, sólido, líquido e gasoso, sendo este último constante durante toda a existência do ser humano no planeta. A distribuição deste recurso é dada em três grandes armazenamentos distintos, oceanos, continentes e atmosfera, sendo a concentração de cada um dinâmica pelo ciclo hidrológico. Este processo pode ser compreendido como uma sequência de etapas discretas na natureza no qual a água sai do seu estado atual (sólido, líquido e gasoso) para o primitivo. De acordo com o estado atual da água, podem ocorrer transformações de estado por processos conhecidos amplamente na física e química, conforme apresentados na figura 1 (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010).

Figura 1 – Ciclo Hidrológico



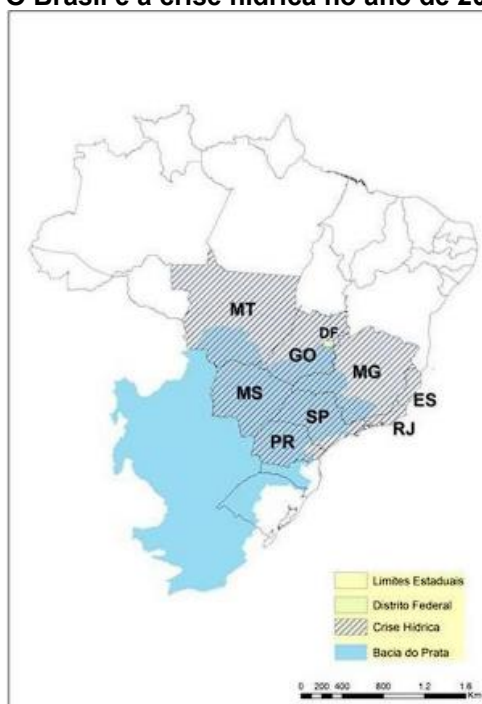
Fonte: Acquasolution (2023)

Recursos hídricos são renováveis, porém são finitos e limitados, sendo a preservação destes algo de importância primária à vida humana na terra. Com o

crescimento populacional do planeta o consumo de água doce é cada vez maior, de forma a reduzir a qualidade deste líquido aliado a dificuldade de acesso em todo o globo terrestre. As sociedades humanas necessitam da água para seu desenvolvimento e economia, porém tais processos causam degradação na qualidade deste recurso por meio de despejos de resíduos (sólidos ou líquidos) em canais fluviais assim como as consequências de produtos químicos inadequados à vida humana nas etapas de transformação da água (FERNANDES; NOGUEIRA; RABELO, 2008).

A questão da disponibilidade e utilização inapropriada da água tem sido um tema recorrente quando se tratam temas ambientais e qualidade de vida para as pessoas, além de discutido intensamente por grandes órgãos de saúde ao redor do globo terrestre. O crescimento populacional das cidades no mundo, principalmente em regiões com densidade populacional elevada e com alta impermeabilização do solo, constituem fatores agravantes para o ciclo hidrológico. Processos como a poluição dos ambientes que recebem a água da chuva, criação de barreiras para o escoamento da água e canalização de cursos de água alteram o nível qualitativo e quantitativo das águas (BERTOLO, 2006).

A escassez de água potável no Brasil é uma situação conhecida em regiões áridas ou semiáridas, ambientes em que a água se encontra nas rochas sedimentares, que garantem a conservação e disponibilidade, de acesso a estas bacias é complexo. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste tal situação era pouco discutida até 2021, ano em que a crise hídrica foi observada no território brasileiro como um todo, sendo o menor valor histórico de volume nas bacias principais do sistema hídrico nacional que alimentam todos os estados do Brasil. Nestas regiões, a incidência de secas graves foi algo nunca visto antes, sendo 22 dos 27 estados brasileiros afetados por secas de longa duração até o fim do ano de 2022, sendo possível observar casos de secas extremas em 4 dos estados brasileiros na figura 2 (DINIZ et al, 2021).

Figura 2 – O Brasil e a crise hídrica no ano de 2021

Fonte: Diniz et al (2021)

Considerando o contexto descrito nos parágrafos anteriores, este trabalho propõe a elaboração de um protótipo de produto que faz a coleta, tratamento e gestão da água da chuva de maneira automática. Este arquétipo utilizará um sistema embarcado, sensores, atuadores e princípios de desenvolvimento de trabalhos para a automação de processos inicialmente manuais.

Em um *benchmark* (avaliação de sistemas similares) /análise de mercado sobre sistemas de coleta de água da chuva foram encontrados vários sistemas de coleta de água, desde sistemas a agricultores (coleta de água por meio de sistemas subterrâneos), sistemas para prédios (coleta de água em tanques de elevado volume de água e sistemas comerciais/residências (coleta da água da chuva por meio do cano ladrão).

Corroborando a importância de sistemas conforme este trabalho, algumas cidades do Brasil têm legislações que obrigam que novas construções tenham a captação da água proveniente da chuva. Em 2003, a cidade de Curitiba aprovou a lei 10.785/03 (CURITIBA, 2003) de cunho ambiental, que obriga, a partir do ano citado, que novos edifícios usem fontes alternativas de água, sendo a captação, armazenamento e uso compulsório da água da chuva. Na Câmara Municipal de Colombo no fim do ano de 2020 foi instituída a Lei no 1.553/2020 (COLOMBO, 2020), que fomenta a implementação compulsória de sistemas de

coleta e reuso de água para construções novas cuja área construída seja superior a 1500 metros quadrados.

Pelo fato de o sistema deste trabalho ter como público-alvo residências, as principais comparações serão realizadas com sistemas comerciais análogos ao sistema desenvolvido por este trabalho.

O sistema comercial similar encontrado neste mercado foi o da empresa brasileira Tecnotri (TECNOTRI, 2023). Este sistema apresenta intervalo de capacidade de volumes (150 L, 600 L, 750L, 1000L, 1050L) com um sistema de filtro com funções de separação de objetos sólidos, tratamento químico com pastilha de cloro, filtragem fina/simple e decantação. Além disso, esse produto apresenta uma torneira com conector hidráulico e uma saída de maior calibre mecânica para água em caso de transbordo (volume acima do especificado da cisterna). A figura 3 exemplifica a solução da empresa Tecnotri, sendo possível a visualização do filtro aliado a uma cisterna modular de 600 litros.

Figura 3 – Cisterna Vertical Modular 600 Litros para reuso de água



cor - ref. #D86018

Fonte: Tecnotri (2023b)

Ao comparar este produto com o proposto por este trabalho foi possível observar que este apresenta uma maior quantidade de funções que o da empresa Tecnotri. Entre os diferenciais (i), a recirculação da água por meio de bombas e filtragem dupla por seletores específicos, de maneira a prolongar a qualidade de água por manutenção realizada pelos filtros. A capacidade de medição do nível (ii) do tanque também é relevante, pois o conhecimento dessa informação possibilita ao usuário um controle mais acurado do uso da água proveniente da chuva.

Além disso, a pressurização (iii) que o sistema comercial proposto por esse trabalho é uma inovação/diferencial, pois mesmo os tanques comerciais de alta capacidade não apresentam uma pressurização suficientemente boa para aplicações de longa distância, sendo que este problema foi sanado com o desenvolvimento deste trabalho. Existem outros sistemas comerciais similares ao da empresa Tecnotri porém como estes apresentam menos funções que este, apenas esta comparação se faz necessária.

Um nicho de coletores de água da chuva específicos são os subterrâneos, caracterizados por instalação abaixo do nível normal das construções. Há variantes dessas para residências pela empresa Casa da Cisterna (CASA DA CISTERNA, 2023) e comerciais/rurais/agrícolas pela empresa Stormsaver Ltda (STORMSAVER, 2023) com volumes variados (figuras 4 e 5).

Figura 4 – Commercial Rainwater Harvesting Systems



Fonte: Stormsaver (2023)

Figura 5 – Cisterna Vertical Aparente 750L com filtro e clorador



Fonte: Casa da Cisterna (2023)

Estes sistemas têm o objetivo de promover a coleta da água da chuva para reuso por meio de uma série de filtragens/tratamentos químicos diferentes com objetivo de uso potável. Apesar desta categoria de cisternas não serem correlatos com o produto que será desenvolvido neste trabalho, é válido observar as vantagens e desvantagens existentes ao realizar esta comparação. Nesta categoria, isto é, de cisternas subterrâneas, as funções de medição de nível, recirculação ativa de água, elevação da pressão desta água coletada, entre outras podem ser consideradas diferenças relevantes. Ao comparar esta categoria de produtos com o proposto por este trabalho é possível observar que o sistema comercial tem mais funções embutidas, permitindo assim uso de mais alto nível da água armazenada, porém necessitando de alterações na infraestrutura construída e hidráulica para funcionamento deste sistema. A principal vantagem do sistema de cisterna proposto por este trabalho está no fato de que há necessidade de alterações na parte construtiva, aliada a um bom conjunto de funções ao usuário.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O trabalho em questão tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de um Sistema de Gerenciamento de Cisterna (Eco-Cisterna) para coleta, tratamento e uso da água da chuva para fins não-potáveis em residências com especificações.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho, são:

- Conceber uma solução após análise detalhada do problema e avaliação das soluções existentes.
- Elaboração e validação do firmware de gerenciamento de sensores e atuadores dos componentes do sistema.
- Montagem de um protótipo para validação dos testes de integração e subsistemas.
- Avaliação do funcionamento do produto final.

1.2 Justificativa

Produtos relacionados à ecologia e meio ambiente estão cada vez mais em voga por questões contemporâneas. Uma variedade de localizações geográficas apresenta a condição de chuvas torrenciais, alternada por períodos de seca extrema, de forma que a coleta desta água é essencial para o funcionamento destes locais (ARAÚJO; DIAS; BENINI, 2015) e regiões (SOUZA, 2007).

Em uma análise de mercado dos produtos voltados à coleta de água da chuva, é possível observar que o uso elevado de sistemas mecanizados que possuem baixo nível de automação e utilidade reduzida. O produto proposto neste trabalho tem o objetivo de promover ao usuário acesso a funcionalidades automatizadas nas etapas de coleta, tratamento parcial e utilização externa da pressurização da água. Além disso, o usuário poderá ter acesso às funções especializadas de aeração, verificação de volume, altura do tanque e temperatura, assim como a cloração da água armazenada, que realiza um tratamento físico-químico do líquido armazenado.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho de conclusão de curso é composto por 6 (seis) capítulos. O primeiro (Introdução) descreve o contexto, os objetivos e as justificativas relacionados ao tema principal do trabalho em questão.

O segundo capítulo (Referencial teórico) apresenta a revisão da literatura das tecnologias, processos e conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

O terceiro capítulo (Processo de desenvolvimento) descreve o trabalho em termos de arquitetura, no sentido de demonstrar uma visão holística da solução proposta. Esta solução proposta possui as necessidades/requisitos dos *stakeholders*, estrutura física (hardware) e digital (software) assim como a descrição detalhada dos processos durante a implementação prática da solução proposta.

O quarto capítulo (Testes) descreve as verificações funcionais acerca de todo o sistema proposto, a Eco Cisterna, assim como as verificações de partes que compõe o trabalho como um todo, sendo a base desta seção o conteúdo do capítulo três (Processo de desenvolvimento).

O quinto capítulo (Discussões) apresenta os artefatos e dados relevantes da elaboração do protótipo em questão, assim como os resultados práticos do trabalho em questão.

Como seção final, o capítulo seis, a conclusão destaca as principais contribuições do trabalho no sentido de avaliar o modelo proposto com o obtido na prática, assim como pontos de melhorias do protótipo e possíveis trabalhos futuros decorrentes do mesmo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Captação da água pluvial

A água proveniente do início da chuva contém uma quantidade elevada de ácidos, micro-organismos e outros poluentes atmosféricos que a caracterizam como esgoto, porém após certo tempo, o líquido em questão adquire características de água destilada devido a evaporação natural. Todavia essa água tem usos práticos não-potáveis como a limpeza geral, irrigação de jardins, reserva de incêndio e sistemas de resfriamento. Neste contexto, a captação da água da chuva é algo viável que pode ser implementado por sistemas com os seguintes componentes e regras (FEDOZZI, 2013):

- Dispensar os primeiros minutos da chuva, de maneira a não coletar poeira e outras partículas sólidas, por meio de um separador de fluxo.
- Utilizar as calhas para a captação da água da chuva para conduzir a água até o concentrador vertical (condutor vertical).
- Utilizar caixas coletoras (de areia) para conectar todos os coletores e desobstruir canalizações, assim como um tanque externo para armazenar a água coletada da chuva.

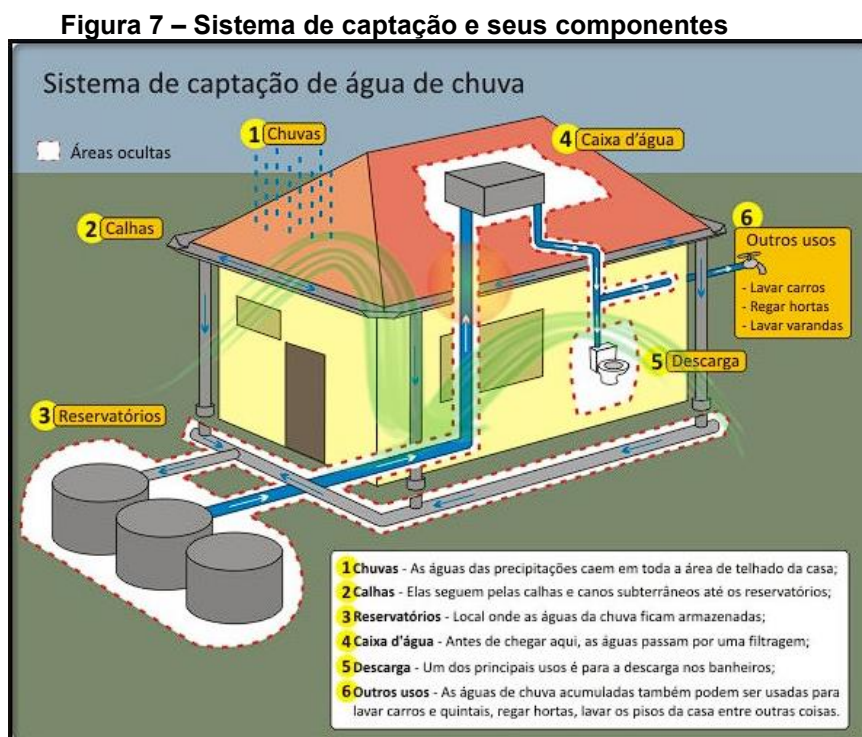
A figura 6, que contém a ilustração de um separador de fluxo de uma empresa comercial, demonstra uma das finitas etapas necessárias para a captação da água da chuva e posterior utilização da mesma.

Figura 6 – Separador de fluxo Fortlev



Fonte: Fortlev (2023)

Neste contexto, é necessário o redirecionamento para o sistema de coleta de água pluvial/cisterna e posterior uso não-potável da mesma. A figura 7 demonstra como a estrutura existente de uma calha pode ser usada para a coleta da água da chuva (FEDOZZI, 2013).



Fonte: Portjr (2023)

2.1.1 Cisterna

Cisterna é um componente do sistema de captação de água, sendo este uma tecnologia concebida para a coleção de líquidos no geral, sendo este dispositivo alocado em um espaço protegido de luz e calor, a fim de manter a qualidade da água por longos períodos. A cisterna pode ser utilizada de maneira subterrânea ou sobre o solo sendo a entrada de água proporcional ao telhado no qual a cisterna está localizada. Líquidos que estão dentro deste dispositivo podem ser utilizados para fins não-potáveis do dia a dia, sendo a limpeza geral de residências (quintal, garagem), umidificação de jardins e utilização desta água em descargas exemplos desta utilização (FEDOZZI, 2013).

O dimensionamento da cisterna é dependente de alguns fatores: média de precipitação do local em que a cisterna está localizada, assim como a distância das fontes de contaminação que podem afetar a qualidade da água. Outros fatores que devem ser

levados em conta são a utilização de telhados que não são de amianto e a demanda local de água não potável (FEDOZZI, 2013).

2.1.2 Contaminação da Água Pluvial

A contaminação da água da chuva ocorre em duas situações, sendo a primeira no momento em que a água pluvial passa pelas camadas baixas da atmosfera e a segunda relativa ao armazenamento impróprio desta água. As camadas iniciais da atmosfera (Troposfera e Estratosfera) possuem partículas no geral em suspensão e microrganismos, enquanto que em áreas industriais há outras fontes de contaminação como metais pesados Chumbo (Pb) e substâncias químicas orgânicas (herbicidas e praguicidas). No contexto de coleta da água da chuva por superfícies (por telhados e canalização, por exemplo), ocorre a contaminação da água pluvial por partículas, matérias orgânicas e inorgânicas (NETO, 2013).

Compostos orgânicos complexos, bactérias, traços de metais, sólidos inertes e depósitos de restos fecais de animais podem ser encontrados em águas pluviais coletadas por escoamento em superfícies. Fatores externos como o intervalo da última chuva e condições ambientais relativas à localização do local da coleta da água pluvial afetam diretamente na qualidade final e tipos de tratamentos necessários para a utilização não potável (VILLARREAL; DIXON, 2013).

2.1.3 Indicadores Físico-químicos da Água

A água da chuva pode ser utilizada facilmente para fins não-potáveis, sendo necessário uma série de processos de tratamento para este uso. Considerando as técnicas de aproveitamento da água pluvial, o método de coleta em telhados apresenta potencial para múltiplos usos. A Portaria MS N° 2914/2011 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011) descreve os critérios de controle e vigilância da água para consumo humano e potabilidade segundo aspectos de físico-químicos e microbiológicos. A condutividade a 25 graus Celsius, a concentração de sólidos totais dissolvidos, pH, alcalinidade, concentração de cloretos e condutividade são indicadores de qualidade essenciais que devem ser medidos para verificar a potabilidade da mesma (PINHEIRO; ARAÚJO, 2015).

Água da chuva que entra em contato com superfícies necessitam de tratamento adequado, pois carregam bactérias, protozoários e outros subprodutos. A contaminação microbiológica é verificada pela presença de *Salmonella*, *Legionella-like*, *Clostridium*

perfringens, *Aeromonas*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Giardia* em amostras de água de chuva. A contaminação química indica a necessidade de verificar a presença de metais pesados na água, sendo o chumbo um dos elementos mais significativos. A falta de manutenção dos telhados implica na acidez elevada da água (BERTOLO, 2006).

Parâmetros químicos como a concentração de Acrilamida, Antimônio, Arsênio, Benzeno, Benzo(a) pireno, Boro, Bromatos, Cádmio, Crômio, Cobre, Cianetos, 1,2 diclorometano, Epicloridrina, Fluoretos, Chumbo, Mercúrio, Níquel, Nitratos, Nitritos, Pesticida individual, Pesticidas totais, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), Selênio, Tetracloroeto e tricloroeteno, Trihalometanos total (THM) e Cloreto de vinilo são relevantes na análise (BERTOLO, 2006).

Parâmetros biológicos como a concentração de *Escherichia Coli* (*E. Coli*) e *Enterococos* são essenciais para a determinação da qualidade da água. Parâmetros físico-químicos como Alumínio, Amônio, Cloretos, *Clostridium perfringens* (incluindo esporos), Cor, Condutividade, pH, Ferro, Manganês, Cheiro a 25°C, Oxidabilidade, Sulfatos, Sódio, Sabor a 25°C, Número de colônias a 22°C e a 37°C, Bactérias coliformes, Carbono Orgânico Total, Turvação, a-total, b-total e Trítio.

Parâmetros de qualidade relacionados aos indicadores físico-químicos: pH a 25°C, Temperatura, Condutividade, Sulfatos, Cloretos e Oxigênio dissolvido (BERTOLO, 2006).

2.1.4 Filtragem da Água Pluvial

O aproveitamento da água da chuva é uma fonte alternativa viável em residências, comércios e edificações, todavia é necessário o tratamento desta água para usos potáveis e não-potáveis. No mercado de produtos de filtragem da água pluvial existem diferentes sistemas, sendo a utilização de fibras lignocelulósicas a membranas metálicas exemplos de sistemas. O processo de tratamento de água pluvial é composto pelo descarte do primeiro milímetro, com o objetivo de rejeitar a coleção de detritos sólidos, contaminantes e partículas inadequadas, e passagem da água residual em filtros, com o objetivo de reduzir significativamente partículas macroscópicas e bactérias. A filtragem pode ser feita por uma operação física ou operação mecânica na qual barreiras são implementadas para reter partículas sólidas e possibilitar o fluxo da água. Este processo pode ser feito de maneira mecânica pura (Filtro de Pressão, Rede Metálica, Geotêxtil, etc) e mecânica híbrida (Íons de Prata, filtração biológica, Escória de usina termoelétrica, etc). Filtros híbridos

apresentam implementação prática complexa no sentido de instalação em sistema de baixo custo, enquanto os mecânicos puros apresentam implementações simplificadas em sistemas deste tipo (DALPAZ et al, 2017).

O filtro de rede metálica consiste na compressão de camadas de tramas metálicas que são entrelaçadas e fixadas no formato geométrico do sistema de filtragem. Este filtro possui a funcionalidade de remover poluentes e partículas sólidas da água pluvial, porém devido à natureza deste material, problemas como oxidação e redução da rigidez da malha com o tempo de uso. O filtro de malha é análogo ao de rede metálica, porém as malhas apresentam uma rigidez inferior a metálica, porém capacidade de retenção de partículas superiores ao anterior (DALPAZ et al, 2017)

2.1.5 Sanitização da Água

A água já foi considerada um bem de consumo inesgotável e com regeneração eterna, independente do volume de poluição adicionado neste recurso essencial à vida humana. Com o passar do tempo, este pensamento causou consequências ambientais graves que afetam diretamente a qualidade de vida da população do planeta. Neste contexto, o reuso da água pluvial é caracterizado como água cinzenta, cuja utilização na limpeza e uso não-potável geral são válidos. A água cinza pode ter pouca quantidade de matéria orgânica e resíduos leves, sendo a sanitização desta água uma maneira de tratamento químico base que potencializa os casos de uso deste líquido. Caso o grau de componentes impróprios para a água cinza seja baixo, o processo de desinfecção da água por cloro (ou derivados) é suficiente para este tratamento. A figura 8 exemplifica as etapas de tratamento para um sistema completo de reuso da água cinza (BONI, 2009).

Figura 8 – Etapas de Tratamento da água Cinza



Fonte: Boni (2009)

2.2 Automação de Processo

A realização de rotinas em um serviço, caracterizada como organizada e produtiva, tem como base processos bem estabelecidos. Por definição, processo é uma coleção de atividades, cujo objetivo é modificar as entradas por meio de procedimentos que atribuem valor, sendo o resultado disto a entrega de um artefato (saídas). Processos estão diretamente relacionados com eventos ou acontecimentos e o uso de diferentes sistemas para tratamentos deste acontecimento podem ser utilizados para a execução completa do mesmo (SIMON, 2018).

A figura 9 exemplifica os componentes de um processo, sendo este generalizável para procedimentos puramente físicos, gerenciais e de qualquer outra natureza.

Figura 9 – Conceito de processo



Fonte: Simon (2018)

No contexto de automação, o processo é um elemento-chave para a habilitação de fluxos de negócio e requisitos de um sistema, sendo a conversão de recursos humanos em um serviço um exemplo prático (SIMON, 2018).

2.2.1 Microcontrolador

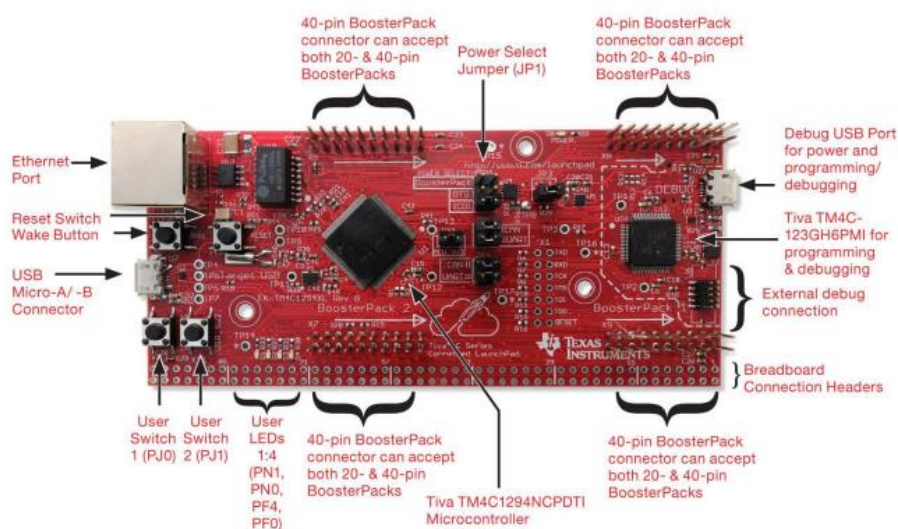
No ambiente industrial, computacional e residencial, a crescente presença de microcontroladores é notável. Este componente tem a funcionalidade de realizar processamentos lógicos com tempo de resposta baixa e controle de execução de processos elevado aliado a capacidade de customização a uma finalidade específica. Adicionalmente, microprocessadores podem ser comparados a computadores pessoais, que possuem memória (estática e dinâmica), processador, interação com os sinais externos e interação com o usuário. Como definição alternativa deste elemento, o microcontrolador possui capacidade de programação em diversas configurações, sendo a principal utilização no gerenciamento de processos lógicos e especificamente de periféricos deste sistema (portas, sensores, atuadores, relés, etc). Microcontroladores possuem os seguintes componentes internos: Memória (RAM e EEPROM), unidade central de processamento (CPU), barramentos (BUS), unidade de entrada/saída (I/O), unidade serial (UART), unidade de temporização (Timers), cão de guarda (Watchdog) e conversor analógico digital, detalhados a seguir conforme Assis (2004).

- A memória é o componente que faz a função de armazenar dados (conjunto finito de endereços), sendo possível a escrita e leitura de todos os endereços deste conjunto.
- A memória *RAM* (*Random Access Memory*) é um conjunto finito de endereços que tem como finalidade o armazenamento temporário de dados.
- A memória *EEPROM* (*Electronic Erasable Programmable Read Only Memory*) é um conjunto finito de endereços que tem como finalidade o armazenamento de informações de longo prazo.
- A unidade central de processamento (*CPU*) é um conjunto de locais específicos de memória (registradores), que possibilitam operações matemáticas e operações de transferência de memória, aliado aos barramentos de dados, endereços e linha de controle. Dados que estão presentes nesta seção de dados são interpretados para a execução de tarefas específicas.
- O Barramento é o elemento que realiza a conexão entre a memória e a *CPU*, sendo o tamanho físico dependente da arquitetura do microcontrolador.
- A unidade de entrada/saída (*I/O*) é o elemento que tem como função habilitar uma interface com o mundo externo, geralmente tal interface é feita por portas (*ports*), sendo estas caracterizadas como de saída ou entrada.
- A unidade serial (*UART*) é o elemento que permite a comunicação com o mundo externo de elementos que operam *bit a bit* de maneira *full-duplex*. O barramento (*bus*) de memória cache são componentes utilizados no processo de comunicação.
- A unidade de temporização (*Timers*) é um conjunto de contadores, registro de dados que apresenta caráter crescente entre intervalos de tempo bem definidos, que são usados para temporização em protocolos de comunicação e tarefas que necessitam o conceito do tempo.
- O cão de guarda (*Watchdog*) é um componente que tem como função a reinicialização da contagem do programa no contexto que detecção de falhas.
- O conversor analógico digital (*A/D*) é um circuito que converte sinais analógicos em um formato que é compreendido pelo microcontrolador, sendo a conversão de níveis de tensão bem definidos em valores binários pela unidade de processamento central.

2.2.1.1 Tiva EK-TM4C1294XL

O microcontrolador kit de desenvolvimento EK-TM4C1294XL que utiliza o microcontrolador *ARM Cortex M4*, o principal responsável por todo o trabalho, pois este gerenciará todos os componentes eletrônicos do trabalho. Este microcontrolador em um encapsulamento de kit de desenvolvimento comercial está exibido na figura 10.

Figura 10 – Placa de Desenvolvimento Tiva EK-TM4C1294XL



Fonte: Texas Instruments (2014)

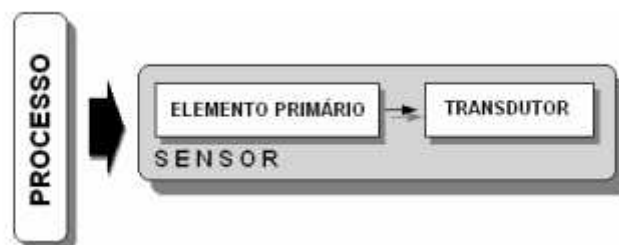
Este microcontrolador apresenta 21 registradores no total sendo 13 de uso geral e 3 de propósito específico, contendo uma série de periféricos como o *GPIO*, protocolo *SPI*, temporizadores entre outros. O mesmo contém o controlador de interrupção integrado ao núcleo do processador, tabela de vetores de interrupção e o tratamento de interrupções bem eficiente, assim como o gerenciamento de estados de consumo de energia (GANSSLE, 2008).

2.2.2 Sensores e Transdutores

Sensores e transdutores têm diversos conceitos que podem variar de acordo com o contexto e domínio científico. Sob a perspectiva de automação e processos, o sensor pode ser definido como um aparato caracterizado por demonstrar características elétricas ao

ocorrer uma ação física de natureza não elétrica. Neste contexto, este elemento é composto por dois componentes, um elemento primário e um transdutor (COELHO, 2005). A figura 11 exibe a relação entre os conceitos descritos acima.

Figura 11 – Conceito e Abstração de Sensor



Fonte: Coelho (2005)

O elemento primário é uma abstração intermediária localizada em um processo e o transdutor, no qual seu objetivo é a conversão de fenômeno em uma grandeza mensurável, sendo um exemplo disto o uso de placas de orifício em medidores de vazão industrial com objetivo de se obter uma diferencial de pressão. No contexto em que a grandeza elétrica a ser mensurada é uma medida física, o transdutor é o elemento que converte a mesma em uma medida elétrica. Caso não seja necessário utilizar um elemento primário, sensor e atuador são o mesmo dispositivo (COELHO, 2005).

Neste trabalho serão utilizados os seguintes sensores abaixo:

- Sensor de Temperatura
- Sensor de Detecção de Água
- Sensor Ultrassônico

2.2.2.1 Sensor de Temperatura

O sensor de umidade apresenta 3 terminais, sendo dois de alimentação (5V e GND) e um em que o valor da temperatura é lido de maneira analógica. O sensor de temperatura é conectado ao *GPIO* do microcontrolador tem o objetivo de realizar a medição da grandeza física da agitação térmica das moléculas com uso de transdutores internos. Esta medição ocorreu pela leitura do circuito interno do encapsulamento, sendo a leitura analógica de forma que será utilizado a conversão pelo periférico *ADC* (WHITAKER, 2005). A figura 12 (sensor de temperatura LM35) exibe a ilustração de um sensor de temperatura de cunho comercial que será utilizado na confecção do trabalho em questão.

Figura 14 – Sensor de Detecção de Água Capacitivo XKC-Y25-V



Fonte: Usinainfo (2023)

2.2.2.3 Sensor Ultrassônico

O sensor ultrassônico tem 4 terminais, sendo dois de alimentação (5V e GND) e dois com conexão a transmissão e recepção de ondas mecânicas por transmissores e receptores acoplados (*Trigger* e *Echo*). O sensor ultrassônico, que é conectado ao *GPIO* do microcontrolador de maneira bidirecional, tem função de medir o nível do tanque. Esta medição ocorre pela medição do tempo entre a emissão de uma onda mecânica e seu retorno pelo receptor, com o auxílio de timers (WHITAKER, 2005).

A figura 15 exibe a representação física de um sensor ultrassônico comercial, o HC-SR04.

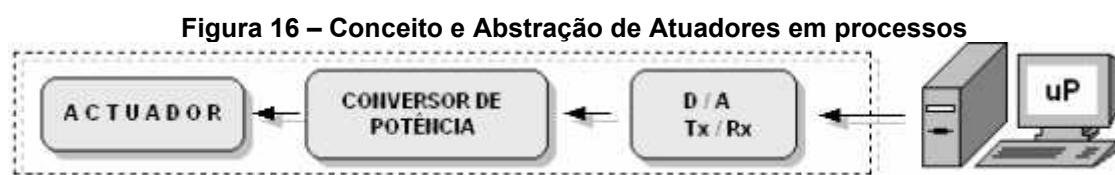
Figura 15 – Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fonte: Elecfreaks (2023)

2.2.3 Atuadores

Atuadores estão relacionados diretamente com o conceito de sensores e transdutores, no sentido de realizar a conversão de energia ou grandezas em outras, geralmente para grandezas elétricas em físicas. Oposto ao conceito do sensor, atuadores convertem energia tipo elétrica em não-elétricas. Um exemplo prático disso seria o efeito Peltier, cujo princípio é a geração de um diferencial de temperatura em interfaces de materiais distintos por uma tensão elétrica, sendo o efeito Seebeck o inverso, isto é, a geração de um diferencial de tensão elétrica pela junção de dois materiais em temperaturas distintas. Devido à grande variedade de grandezas físicas, há diversos atuadores comerciais para distintas aplicações, desde eletromecânicos, eletropneumáticos a eletro-hidráulicos, sendo uma válvula em sistema de tanques um exemplo prático (COELHO, 2005). A figura 16 exibe o conceito de alto nível de um atuador no contexto de trabalho em questão.



Fonte: Coelho (2005)

Neste trabalho serão utilizados os seguintes atuadores abaixo:

- Bomba de Água
- Relé
- Circuito de Chaveamento

2.2.3.1 Bomba de Água

A bomba de água eletromecânica é o componente do trabalho que apresenta arranjo físico de um motor DC com mecanismos apropriados para a movimentação de fluidos líquidos. O motor DC é um componente que apresenta uma série de componentes como estator, ímãs, entre outros de forma que seu funcionamento é fundamentado no alinhamento de campos magnéticos. Tal componente tem objetivo de rotacionar seu eixo mecânico principal, onde para cada rotação há um torque e velocidade específicos. Na interface deste eixo é colocado um sistema mecânico com objetivo de permitir o fluxo de

flúidos. Neste trabalho este componente tem o objetivo de realizar a recirculação da água recolhida em parceria com as válvulas (WHITAKER, 2005) (POZZATTI, 2015).

As figuras 17 e 18 exibem 2 tipos de bomba de água usadas em protótipos e produtos comerciais.

Figura 17 – Bomba de Água Submersível 12V DC30A-1230



Fonte: Multipeças (2023^a)

Figura 18 – Micro Bomba de Água 12V JSB



Fonte: Multipeças (2023b)

2.2.3.2 Circuito de Chaveamento

O circuito de chaveamento é o componente físico (*hardware*) que apresenta um conjunto de transistores de diversos tipos em um esquema elétrico de acionamento de cargas, que necessitam correntes acima das quais o microprocessador pode fornecer. Este componente pode ser desenvolvido com *BJT's* (*Bipolar Junction Transistors*, em português, TBJ – Transistor de Junção Bipolar), *JFET's* (*Junction Field-Effect Transistors*, em português, Transistor de Junção de Efeito de Campo), *MOSFET's* (*Metal Oxide*

Semiconductor Field Effect Transistors, em português, Transistor de Óxido Metálico de Efeito de Campo), sendo que cada um apresenta sua operação para funções específicas (operação como chave ou amplificador). Para este componente os transistores serão utilizados como chave e cada um destes tipos de transistores apresentam características específicas, como impedância de entrada e saída, frequência de operação, tipo de sinal para controle (corrente ou tensão), curvas características específicas, entre outros. Neste trabalho este componente terá o objetivo de permitir o funcionamento da bomba de água (IVO, 2006) e outros componentes (POZZATTI, 2015) e atuadores (WHITAKER, 2005). A figura 19 exemplifica um circuito de chaveamento baseado nos componentes de chaveamento eletrônico.

Figura 19 – Circuito de chaveamento



Fonte: Multipeças (2023c)

2.3 Impressão 3D

O desenvolvimento tecnológico é crescente em diversas áreas de conhecimento, sendo a área de eletrônica e mecânica, algumas entre as mais expressivas. Inicialmente a impressão em 2 dimensões (2D) por laser ou tinta em si foi uma grande inovação tecnológica, sendo em 3 dimensões (3D) algo fora do esperado para o século 21, considerando consumidores amplos. A tecnologia de impressão em 3 dimensões teve seu início nos anos 1990 sendo a indústria médica, aeroespacial e automobilística, as primeiras a adotarem esta tecnologia em processos construtivos. O processo de impressão consiste

no aquecimento do plástico a uma temperatura de 120 graus Celsius e deposição deste material em uma superfície apropriada por múltiplas camadas até a finalização das iterações necessárias. A utilização da impressora 3D consiste em alguns processos discretos como a modelagem do objeto, exportação do objeto em formato de arquivo padrão (*STL/IGES*), validação do arquivo (dimensões e tolerâncias de medidas), conversão das instruções de fabricação e impressão final (BAIÃO, 2012). A figura 20 exemplifica um modelo comercial de impressora 3D.

Figura 20 – Impressora 3D Anycubic Kobra Max



Fonte: Topink3D (2023)

2.4 Desenvolvimento de software

O desenvolvimento de software é uma atividade com alta demanda no mundo, tendo em vista o aumento de produtos comerciais e sistemas que tem como base sistemas microcontrolados ou microcontroladores. Neste contexto, o uso de metodologias ágeis tem sido amplamente utilizado em corporações de diferentes portes, sendo o objetivo destas metodologias o melhoramento dos processos de desenvolvimento e qualidade das entregas. O núcleo das metodologias ágeis consiste na compreensão correta das funcionalidades e necessidades dos membros dos projetos, assim há redução dos intervalos entre as etapas de coleta de requisitos, projeto, implementação e testes. Como as etapas do desenvolvimento possuem intervalo de tempo menor que as metodologias

clássicas (*Waterfall*, etc), a capacidade de adaptabilidade e ajuste às necessidades dos membros do projeto é elevada (CORDEIRO, 2007).

Considerando o contexto de aplicações embarcadas (*software* em microcontroladores), requisitos funcionais de tempo de resposta, consumo de energia, confiabilidade e complexidade de código são relevantes para o contexto do trabalho. Uma categoria deste tipo de aplicação são sistemas de tempo real crítico, sendo um exemplo disso um medidor de oxigenação do sangue, nos quais o resultado de uma ação é determinístico para o funcionamento do sistema. A falha na operação/entrega de uma computação pode causar falhas significativas com consequências que podem afetar a vida humana. O balanceamento entre *hardware* e *software* nestes tipos de aplicação é crucial, visto que uma mudança em que parâmetros de performance podem afetar a escolha do microcontrolador (CORDEIRO, 2007).

3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

O capítulo em questão tem o objetivo de descrever o desenvolvimento do protótipo (eco cisterna) explícito nos tópicos anteriores. Os tópicos iniciais (introdução e fundamentos teóricos) deste trabalho são a base para a elaboração do protótipo proposto na seção de objetivo geral/específicos. As etapas discretas para obtenção de um modelo de validação estão descritas nos tópicos a seguir.

3.1 Análise do Problema

Considerando o contexto climático e meteorológico do Brasil nos últimos anos e considerando as informações encontradas na seção da introdução, podemos concluir que as três principais adversidades do trabalho em questão são as seguintes: a falta de água, a coleta da água da chuva e a questão da qualidade da água da chuva pré e pós coleta.

O primeiro problema em questão, a falta de água, é decorrente de questões meteorológicas/ambientais que têm afetado diversas regiões ao redor do globo. Cerca de 3% de toda a água existente no mundo é de acesso fácil e rápido sendo 0.2% de toda a água existente no mundo potável, logo a água seja ela para consumo humano ou uso secundário é um bem necessário que apresenta certa escassez ao redor do planeta (BERTOLO, 2006).

O segundo problema, a coleta da água da chuva, é decorrente da falta de incentivos industriais e governamentais, sendo recentes ações que busquem o aumento da coleta da água pluvial. Produtos e sistemas que realizam a coleta da água da chuva sempre foram difundidos em ambientes específicos como na Indústria da agricultura e agropecuária, porém não em ambientes urbanos/comerciais. Recentemente, por questões de políticas de controle e redução da água potável disponibilizada pelas empresas públicas, a demanda por produtos que realizam esta tarefa aumentou significativamente. Porém neste mercado, os produtos apresentam funcionalidades mínimas, apenas de coleta e uso, sendo comum a ausência de filtragem biológica básica e santificação, processos essenciais para a utilização não potável de longo prazo.

O terceiro problema, a qualidade da água da chuva pré e pós coleta, é decorrente do processo de coleta e armazenamento, isto é, desde a frequência de chuvas, o material em que a água da chuva passou até a grau de contaminação de cada superfície. Considerando que no processo de coleta da água da chuva há diversas fontes de degradação da qualidade, processos que buscam a melhoria da qualidade são necessários.

A superfície de coleta da água da chuva influencia diretamente a qualidade da água, pois de acordo com a frequência de chuva na região, o telhado pode ficar em ambiente seco por um período elevado, de maneira que quando a próxima carga fluvial vier a água já será altamente contaminada pela deposição de materiais. Em seguida, a forma como a coleta será realizada por canos que possuem porosidades (imperfeições na superfície a nível macroscópico) a água corrente em questão também é afetada, de maneira a aumentar a concentração de componentes orgânicos e inorgânicos. De maneira sequencial, equipamentos de filtragem de água possuem granularidade finita e faixa restrita de especificação, de maneira que nem todos os componentes indesejados sejam barrados. Após estas etapas, a água será armazenada em um tanque translúcido, de maneira que a radiação solar aumenta a taxa de proliferação de partículas orgânicas, que causam a deposição de corpo de fundo de partículas, degradando a qualidade da água em questão.

3.2 Proposta de Solução

Considerando o conteúdo da análise do problema acima as seguintes propostas de soluções foram elaboradas.

Em relação ao primeiro problema, a irregularidade da distribuição da água ao entorno do planeta e as chuvas, há poucas ações que o trabalho em questão pode resolver, além da captação da água da chuva (DINIZ et al, 2021).

A irregularidade da distribuição é decorrente de dinâmicas geoclimáticas nas quais o ser humano tem pouco impacto ou controle (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2015).

Em relação ao segundo problema listado, a coleta da água da chuva, o trabalho em questão tem como proposta de solução o desenvolvimento de um protótipo base para um posterior produto comercial que busca melhorar as funcionalidades de produtos relacionados à captação da água pluvial. A análise e avaliação de mercado de produtos ligados a coleta da água da chuva indica que até o ano de 2022, no segmento de consumidores domésticos e comerciais há um pequeno número de produtos com tecnologia e automação de alto nível, no sentido da necessidade de verificação e processos manuais por parte de cliente/usuário. É corriqueiro a existência de produtos que necessitam de muita intervenção humana, seja no processo de filtragem, limpeza e uso externo para fins comuns. Considerando o contexto explicitado anteriormente, o foco do trabalho em questão é o desenvolvimento de um produto que realizará a coleta automatizada da água de

maneira eficaz e inteligente com o mínimo de interferência humana, ou seja, solucionar problemas relacionados à coleta e armazenamento de água da chuva.

Em relação ao terceiro problema, a qualidade da água da chuva pré e pós coleta de água, o trabalho em questão propõe soluções pela análise das fontes de contaminação e intervenção por meio de tecnologias. A superfície de coleta da água da chuva (superfície primária) é uma variável de complexidade elevada, pois dependendo do material constituinte usado, o grau de contaminação da água pode ser elevado, porém como há uma variedade relativamente extensa de telhados não há uma forma genérica de solução para este problema. Em relação às superfícies secundárias (locais onde a água da chuva passa desconsiderando o telhado), é aconselhável/relevante que o responsável por estas estruturas realizem a higienização pelo menos 1 vez ao ano, a fim de evitar que a água pluvial tenha alto índice de contaminação. Os dois primeiros elementos relevantes ao problema da qualidade da água da chuva estão fora do escopo do produto em questão, pois há uma extensa variedade de elementos que fogem do controle do produto. A partir destes elementos, a água que entrará no sistema de coleta da água da chuva será inicialmente filtrada por um elemento de separação que evita a entrada de partículas sólidas. Em seguida, um elemento de separação de maior granularidade irá reduzir significativamente a entrada de partículas microscópicas por questões de qualidade e degradação da água pluvial (COLLA, 2008).

Caso o intervalo de tempo entre a última chuva seja elevado ou o sistema esteja cheio, o primeiro milímetro de chuva será descartado. Para aumentar a vida útil da água armazenada no tanque, a mesma que passou por diversas etapas de filtragem, de tempos em tempos será adicionada uma solução sanitizante para garantir que a proliferação de partículas indesejadas seja reduzida (HAGEMANN, 2009).

3.2.1 Concepção do Sistema (Eco Cisterna)

Na introdução deste trabalho foi informado que em diversas localidades existe a necessidade de coleta de água para uso secundário (uso não potável). Dessa maneira foi elaborado um produto acessível e de fácil manuseio, que atenda a demanda de produtos que coletam a água da chuva em locais de acesso simplificado. O sistema proposto por este trabalho busca resolver os problemas da falta de água pela coleta da água da chuva para fins de uso externo não potável. Além disso, a melhoria dos indicadores físico-químicos da água armazenada também é uma questão essencial para este trabalho.

O sistema proposto por este trabalho tem o objetivo de modelar um protótipo que coleta a água da chuva, descarte da parte inicial da chuva por questões de qualidade, realize a filtragem da mesma e mantenha a qualidade da água de maneira automatizada por controles eletrônicos. O ambiente de uso do sistema proposto seriam ambientes externos nos quais exista tubulação conectada ao telhado, de fácil acesso para utilização de coleta da água através do sistema proposto.

3.2.2 Requisitos do Sistema

Os requisitos do sistema estão descritos abaixo. Os requisitos funcionais são identificados com **FRx** (*Functional Requirement*) e os não funcionais com **NFRx** (*Non Functional Requirement*).

Os requisitos funcionais são:

FR1 A eco cisterna deverá funcionar com alimentação elétrica 110/220 Volts.

FR2 A eco cisterna deverá impedir a coleta de partículas que prejudicam a qualidade da água.

FR2.1 A eco cisterna deverá impedir a coleta de objetos sólidos por meio de um filtro mecânico.

FR2.2 A eco cisterna deverá impedir a coleta de partícula finas (areia, restos fecais, etc) por meio de um filtro mecânico.

FR3 A eco cisterna deverá eliminar partículas orgânicas e inorgânicas que prejudicam a qualidade da água por meio da injeção de solução sanitizante.

FR3.1 A eco cisterna deverá utilizar a água sanitária comercial para a sanitização da água pluvial.

FR3.2 A eco cisterna deverá adicionar a quantidade proporcional de água sanitária de acordo com a quantidade de água inserida no sistema.

FR4 A eco cisterna deverá descartar água da chuva imprópria para uso não-potável.

FR4.1 A eco cisterna deverá descartar os volumes iniciais da água da chuva (primeiro milímetro da chuva).

FR5 A eco cisterna deverá funcionar autonomamente nos processos de coleta, tratamento e gerenciamento do volume de água existente no produto.

FR6 A eco cisterna deverá descartar o excesso de água em situações de transbordo (nível de reservatório superior a 95%).

FR7 A eco cisterna deverá eliminar partículas orgânicas e inorgânicas que prejudicam a qualidade da água por meio da injeção de solução sanitizante.

FR8 A eco cisterna deverá possuir uma conexão entre a saída da calha e entrada da eco cisterna por tubos.

Os requisitos não funcionais são:

NFR1 A eco cisterna deverá utilizar o padrão de tomada tipo N (NBR 14136).

NFR1.1 A eco cisterna deverá utilizar os pinos de 4mm.

NFR2 A eco cisterna deverá utilizar um sistema de filtragem mecânico cuja limpeza é simplificada.

NFR3 A eco cisterna deverá possuir uma saída de água com vazão de 240L/horas.

NFR4 A eco cisterna deverá ter um *display LCD*.

NFR5 A eco cisterna deverá ter 2 botões para interação com o sistema.

NFR6 A eco cisterna deverá possuir um sistema de filtragem de fácil substituição, lavagem e troca.

NFR7 A eco cisterna deverá possuir manutenção mínima e de longo prazo.

NFR8 A eco cisterna deverá utilizar componentes de cunho comercial.

NFR9 A eco cisterna deverá utilizar componentes que tenham reposição simplificada.

NFR10 A eco cisterna deverá utilizar uma placa Texas Instruments TM4C1294XL com ao *Booster Kit*.

NFR11 A eco cisterna deverá ser programada em C e/ou *Assembly*.

NFR12 A eco cisterna deverá ser desenvolvida na plataforma *IAR Embedded*.

NFR13 A eco cisterna deverá possuir injeção de solução sanitária relativa ao volume de água coletada.

NFR14 A eco cisterna deverá utilizar uma fonte de alimentação externa 12V com conector bipolar para os componentes de maior consumo de energia.

NFR15 A eco cisterna deverá possuir uma embalagem

3.2.3 Componentes do Sistema

Com base nos requisitos e proposta de solução descritos nos tópicos anteriores, os componentes utilizados serão listados abaixo:

- Tiva EK-TM4C1294XL (1 Unidade)
- *BOOSTXL-EDUMKII Educational BoosterPack™ Plug-in Module Mark II* (1 Unidade)

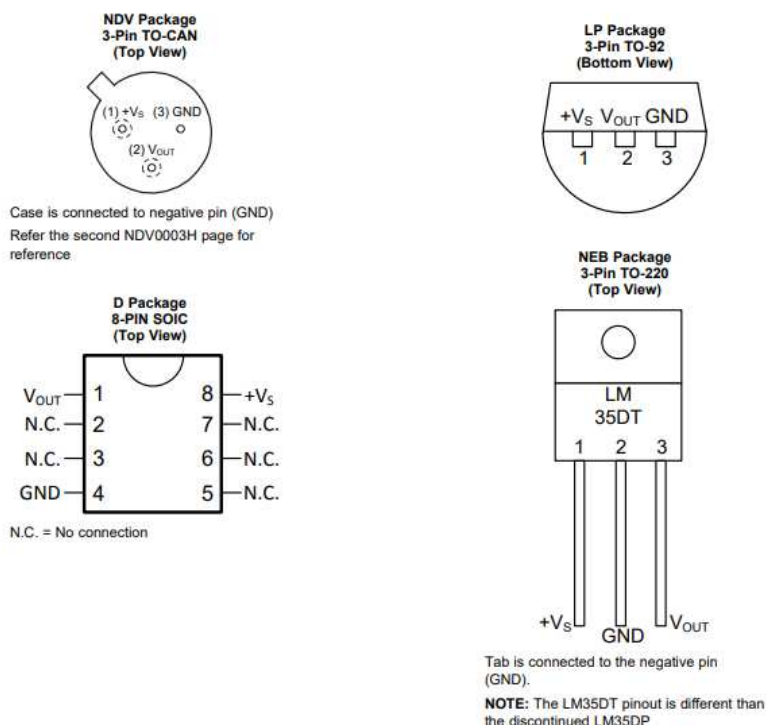
- Sensor de Temperatura LM35 (1 unidade)
- Sensor de Detecção de Presença de Água Capacitivo XKC-Y25-V (3 unidade)
- Sensor Ultrassônico HC-SR04 (1 unidade)
- Sensor de Detecção de Presença de Água Capacitivo XKC-Y25-V (1 unidade)
- Bomba de Água Submersível 12V DC30A-1230 (4 unidades)
- Módulo Relé 5V com 4 Canais com Optoacoplador (1 unidade)
- Fonte 12V 1A (1 Unidade)
- Fonte 5V 3A (1 Unidade)

3.2.3.1 Sensor de Temperatura LM 35

O sensor de temperatura selecionado para o trabalho em questão foi o LM35. Este sensor possui três pinos, dois para alimentação elétrica (tensão positiva, V_s e terra, GND) e um para leitura da tensão, que será convertida para temperatura. O sensor LM35 apresenta uma saída de tensão linear relativa ao ambiente em que o mesmo se encontra, sendo esta 10.0 mV/grau Celsius para a faixa de 2 a 150 graus Celsius, para a configuração de centígrado básico e de -550mV (-55 graus Celsius) e 1500mV (150 graus Celsius), para centígrado completo. A figura 21 exemplifica o sensor de temperatura LM35 em diversos encapsulamentos comerciais. Algumas características do componente em questão são listadas:

- Número de Pinos: 3
- Tensão de Alimentação: 4 – 30 VDC
- Fator de Escala: 10mV / °C
- Escala de Funcionamento: -55°C e 150°C
- Consumo de Corrente Elétrica Máxima: 60 uA

Figura 21 – Implementação física do sensor LM35



Fonte: Texas Instruments (1999)

3.2.3.2 Sensor de Detecção de Presença de Água Capacitivo XKC-Y25-V

O sensor de detecção de líquidos sem toque selecionado para o trabalho em questão foi o XKC-Y25-V. Este sensor possui quatro pinos, dois para alimentação elétrica (tensão positiva, V_s e terra, GND), um para leitura da tensão e um para alimentação dos transistores internos. O Sensor de detecção de presença de água capacitivo XKC-Y25-V apresenta uma saída tensão inversa ao pino dos transistores, de maneira que se este pino for conectado ao nível alto e ocorrer a detecção de algum líquido, a saída terá nível baixo, sendo o inverso caso o pino em questão esteja em nível baixo. Algumas características do componente em questão são listadas:

- Número de Pinos: 4
- Saída: Nível alto para a detecção de líquido caso o pino dos transistores esteja ligado ao nível alto e baixo para a detecção de líquido caso o pino dos transistores esteja ligado ao nível baixo
- Tensão de Alimentação: 4 – 30 VDC

- Tempo de Resposta: 500 ms
- Distância de Detecção: 0 ~13 mm
- Comunicação: *Serial TTL*
- Temperatura de Operação: 0°C e 100°C
- Umidade: 5 ~ 100%
- Grau de Proteção: IP67
- Material: Plástico ABS

3.2.3.3 Sensor Ultrassônico HC-SR04

O sensor de medição do nível de água do trabalho em questão foi o sensor ultrassônico. Este sensor possui quatro pinos, dois para alimentação elétrica (tensão positiva, V_s e terra, *GND*), um para envio do pulso ultrassônico e um para recepção do pulso ultrassônico. Por meio do intervalo entre o envio e recepção do pulso é possível realizar a medição de distâncias. Algumas características do componente em questão são listadas:

- Número de Pinos: 4
- Saída: Nível alto para a detecção de líquido caso o pino dos transistores esteja ligado ao nível alto e baixo para a detecção de líquido caso o pino dos transistores esteja ligado ao nível baixo
- Tensão de Alimentação: 5 VDC
- Frequência de Operação: 40 kHz
- Distância Máxima: 4 metros
- Distância Mínima: 2 centímetros
- Ângulo de Medição: 15 graus
- Sinal de Entrada [Trigger]: Pulso *TTL* (5V) de 10 us
- Sinal de Saída [Echo]: Pulso *TTL* (5V) proporcional à distância detectada

3.2.3.4 Bomba de Água Submersível 12V DC30A-1230

Uma das bombas de água para o trabalho em questão foi a Submersível 12V DC30A-1230. Este atuador possui dois terminais/pinos para alimentação elétrica (tensão positiva, V_s e terra, *GND*). Algumas características do componente em questão são listadas:

- Número de Pinos: 2
- Diâmetro de saída da bomba: 8 mm

- Diâmetro de entrada da bomba: 8 mm
- Modo de funcionamento: sem escova, isolamento magnético
- Uso: água, óleo e outras soluções ácido base
- Temperatura máxima de operação: 60°C
- Consumo de energia: 0,55-4,2W
- Tensão nominal: 12Vdc
- Tensão de operação: 5Vdc ~ 14Vdc
- Corrente de carga máxima: 0,35A
- Fluxo máximo: 4L / MIN
- Cabeça estática máxima: 3M
- Ruído: <40dB
- Classificação à prova d'água: IP68 (instalação de mergulho)
- Vida: mais de 30.000 horas

3.2.3.5 Bomba de Água Micro 12V JSB

O sensor de medição do nível de água trabalho em questão foi a Micro 12V JSB. Este atuador possui 2 dois para alimentação elétrica (tensão positiva, Vs e terra, *GND*). Algumas características do componente em questão são listadas:

- Número de Pinos: 4
- Materiais: Metal e Plástico
- Vazão: Mínimo de 90L/hora e Máxima de 120L/hora
- Tensão de Funcionamento: 12VDC
- Corrente de Trabalho: 0.5 A
- Sucção Máxima: 1.5 metros
- Elevação: vertical até 2 metros

3.2.3.6 Módulo Relé 5V com 4 Canais com Optoacoplador

O elemento de eletrônica de potência para o controle de cargas foi o Módulo relé 5V 10A 4 canais com optoacopladores. Este elemento possui um conjunto de relés para controle de cargas CA e DC, aliado a optoacopladores para isolamento dos canais. Algumas características do componente em questão são listadas:

- Número de Pinos: 6

- Número de relés: 4 Relés SRD-05VDC-SL-C
- Tensão de operação: 5VDC (*VCC* e *GND*)
- Tensão de sinal: *TTL* 5VDC (IN1, IN2, IN3, IN4)
- Saídas: Contato reversível NA, NF e NC
- Corrente elétrica por canal (máxima): 10A
- Carga nominal: 10A 250VAC/ 10A 125VAC/ 10A 30VDC/ 10A 28VDC

3.2.3.7 Fonte 12VDC

A fonte de 12VDC para a alimentação elétrica dos atuadores listados acima foi a chaveada de 12V da marca Green. Algumas características do componente em questão são listadas: (POZZATTI, 2015)

- Conector: Plug P4 macho 2.1mm
- Corrente Elétrica máxima: 1 A
- Tensão de Entrada: 110/220VAC
- Tensão de Saída: 12VDC

3.2.3.8 Fonte 5VDC

A fonte de 5VDC para a alimentação do kit de desenvolvimento foi a chaveada de 5VDC (carregador de celular) da marca Samsung. Algumas características do componente em questão são listadas: (POZZATTI, 2015)

- Conector: USB tipo B
- Corrente Elétrica máxima: 3 A
- Tensão de Entrada: 110/220 VAC
- Tensão de Saída: 5 VDC

3.2.3.9 Tiva EK-TM4C1294XL

O kit de desenvolvimento escolhido para o controle dos atuadores e sensores do trabalho em questão foi a Tiva EK-TM4C1294XL. Este kit é baseado no microcontrolador da família ARM M4F, sendo a abstração TM4C1294NCPT inserida neste kit. Funcionalidades como a interface Ethernet de 10/100 MB, 4 *LEDS* e dois botões conectados aos pinos do microcontrolador, assim como diversos pinos de *I/O* estão

disponíveis de maneira facilitada. Algumas características do componente em questão são listadas:

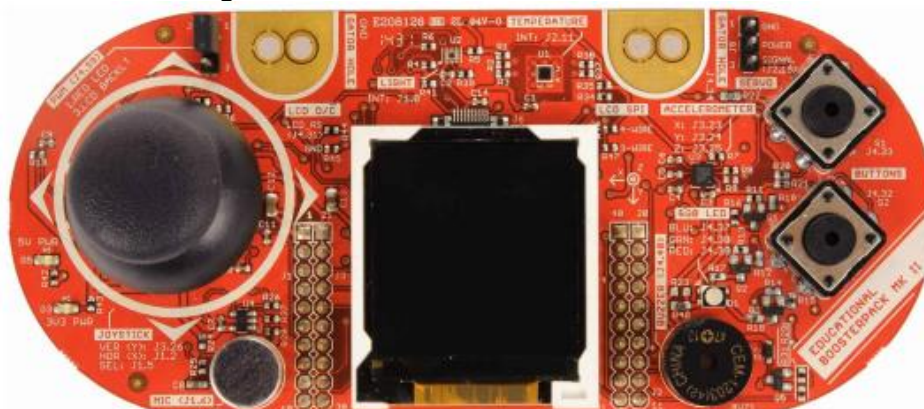
- Tensão de Alimentação: 4.75 a 5.25 VDC
- Conector: USB tipo B
- Interface para depuração: *Stellaris ICD1*

3.2.3.10 BOOSTXL-EDUMKII Educational BoosterPack™ Plug-in Module Mark II

O elemento de extensão de sensores, tela e botões do projeto em questão foi o *BOOSTXL-EDUMKII Educational BoosterPack™ Plug-in Module Mark II*. Este elemento possui algumas funcionalidades embarcadas em seu encapsulamento como botões de interação, *buzzer*, microfone, joystick, *led rgb*, tela *lcd* e sensor de luminosidade. A figura 22 exemplifica a implementação física do kit de extensão da empresa *Texas Instruments*. Algumas características do componente em questão são listadas:

- Tensão de Alimentação: 4.75 a 5.25 VDC
- Sensor de Luminosidade: TI OPT3001
- Sensor de Temperatura: TMP006
- Acelerômetro: Kionix KXTC0-2050
- Buzzer: CUI CEM-1203(42)
- Tela: Crystalfonz CFAF128128B-0145T

Figura 22 – BOOSTXL-EDUMKII BoosterPack



Fonte: Texas Instruments (2015)

3.2.4 Regras de negócio da Eco Cisterna

Para a elaboração do diagrama de atividade da Eco Cisterna, algumas regras de negócio serão utilizadas para o mecanismo de coleta de água. Fatores como a frequência, duração e volume das chuvas são relevantes para determinar as regras de funcionamento do trabalho em questão.

Em relação ao descarte do primeiro milímetro da água da chuva, a ocorrência de chuvas seja superior a 1 hora, não há a necessidade de descarte do primeiro milímetro de água pluvial, caso contrário o descarte ocorrerá sempre.

Em relação ao tratamento da água da chuva armazenada no tanque, caso não haja chuvas com frequência elevada (intervalo das chuvas seja menor que 1 hora), o tratamento de água da chuva ocorrerá com a adição de cloro proporcional ao volume de água coletado. Caso não haja chuvas frequentes, o tratamento do líquido da água armazenada internamente será realizado a cada 1 dia com adição de uma quantidade mínima de cloro.

A concentração da água sanitária para limpeza de superfície e pisos é de 0,2%, enquanto que a média das águas sanitárias comerciais apresenta valores na média de 2.25% (variação de 2% a 2.5%). Na prática o sistema em questão adicionará cloro em uma água que não tem a presença deste elemento, logo é necessário saber o volume de água que será tratado. A partir desta informação, o sistema em questão considera que a água coletada não possui cloro, sendo então adicionado o volume de cloro necessário para a concentração do 2% considerando o volume de água inserido no tanque.

3.2.5 Interface com o usuário

A interface inicial dos produtos em questão deve exibir algumas informações importantes relativas à temperatura do ambiente em questão que o produto está instalado, assim como ao índice de umidade relativa do ambiente, o nível do líquido desinfetante e intervalo de tempo entre a última chuva.

A eco cisterna apresenta os seguintes modos de operação: Inicial, Bloqueado, Tratamento, Saída de água, Recirculação de água, Leitura absoluta, Leitura Relativa, Coleta de água, Remoção do 1mm, Controle do Nível, Tratamento de Água e Leitura da temperatura.

Para os modos Bloqueado, Tratamento, Saída de água, Recirculação de água, Leitura Absoluta e Leitura Relativa. A temperatura tem intervalo de 0 a 50°C, o nível do tanque varia de 0 a 100% e os intervalos da última chuva e tratamento são medidos em

segundos. De acordo com os modos, o texto do estado é atualizado, sendo possível a visualização na figura 23.

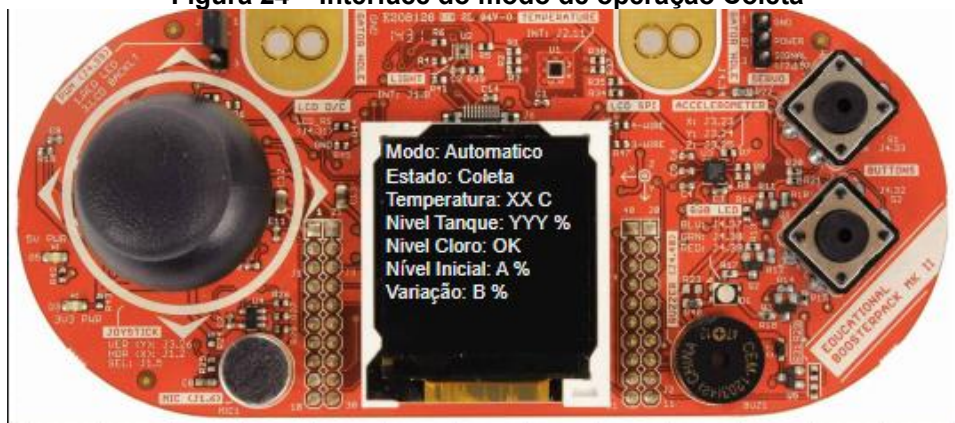
Figura 23 – Interface do modo de operação genérico



Fonte: Texas Instruments (2015) modificado

Para os outros modos a interface exibirá diferentes informações. As figuras 24, 25, 26, 27 e 28 exibem respectivamente o *display* para o modo Coleta de água, Remoção, Controle do nível, Tratamento de água e Leitura de temperatura.

Figura 24 – Interface do modo de operação Coleta



Fonte: Texas Instruments (2015) modificado

Figura 25 – Interface do modo de operação Remoção



Fonte: Texas Instruments (2015) modificado

Figura 26 – Interface do modo de operação Controle do Nível



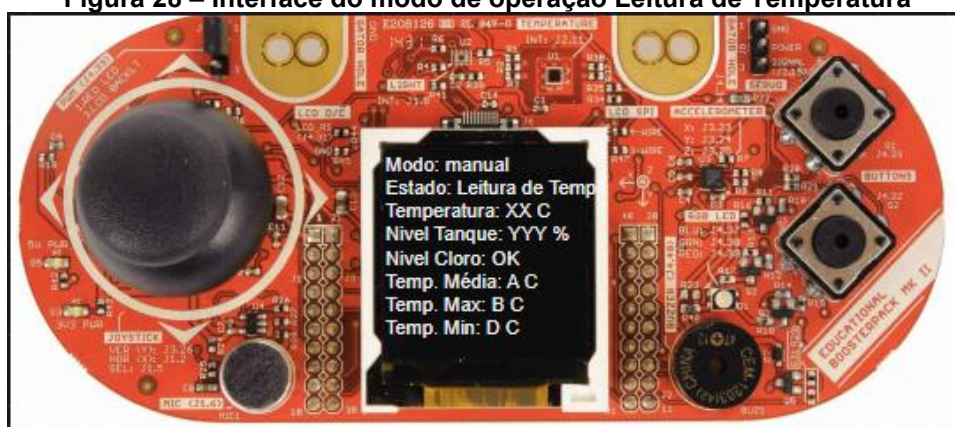
Fonte: Texas Instruments (2015) modificado

Figura 27 – Interface do modo de operação Tratamento de Água



Fonte: Texas Instruments (2015) modificado

Figura 28 – Interface do modo de operação Leitura de Temperatura

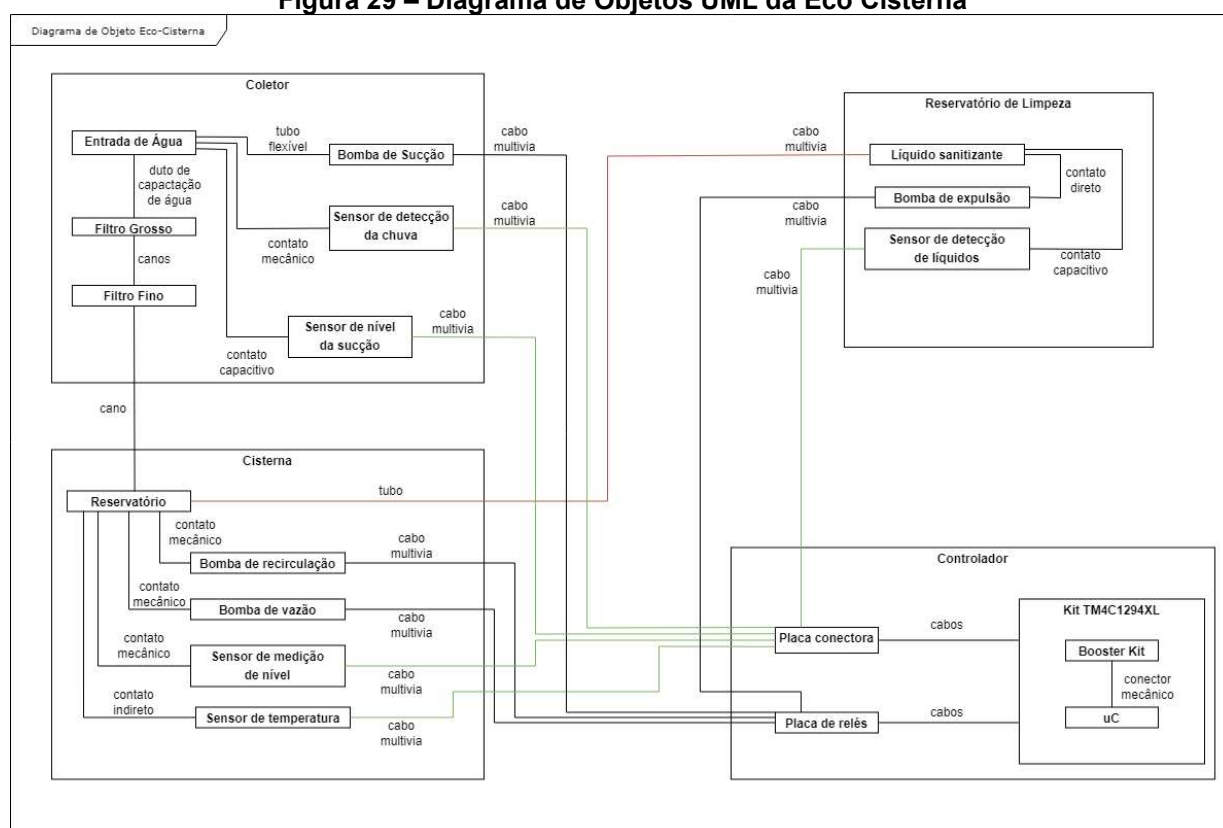


Fonte: Texas Instruments (2015) modificado

3.2.6 Estrutura da Eco Cisterna

O protótipo proposto pelo trabalho de conclusão em questão (Eco Cisterna) consiste no uso conjunto de diversos sistemas que possuem componentes/subcomponentes. Cada um dos blocos será descrito nos parágrafos seguintes sendo a figura 29 o diagrama de objetos UML (Unified Modeling Language) o representante dos componentes da Eco Cisterna.

Figura 29 – Diagrama de Objetos UML da Eco Cisterna



Fonte: Autoria própria (2023)

A eco cisterna é composta por quatro sistemas: o coletor, a cisterna, o reservatório de limpeza e o controlador.

O coletor consiste no sistema que realiza a filtragem (fina e grossa) da água coletada da calha e armazenamento da mesma de acordo com as informações fornecidas pelos sensores e atuadores. Os componentes deste sistema são os seguintes: entrada de água, filtro grosso, filtro fino, bomba de sucção, sensor de detecção de chuva e sensor de nível de sucção.

A cisterna consiste no sistema que contém a água, filtrada e tratada proveniente do sistema coletor, sensores e atuadores que realizam a recirculação, utilização externa e detecção de nível/temperatura da mesma. Os componentes deste sistema são os seguintes: Reservatório, bomba de recirculação, sensor de medição de nível e sensor de temperatura.

O reservatório de limpeza consiste no sistema que contém cloro, líquido que será utilizado para a sanitização da água da chuva que está presente no sistema cisterna, sensores e atuadores que serão usados para a injeção deste líquido em outro sistema. Os componentes deste sistema são os seguintes: Líquido sanitizante (Cloro), bomba de expulsão e sensor de detecção de líquidos.

O controlador consiste no sistema que contém todos os componentes eletrônicos que serão utilizados para a implementação da Eco cisterna. Os componentes deste sistema são os seguintes: Placa conectora, placa de relés e kit de desenvolvimento Tiva TM4C1294XL.

3.3 Design do Sistema

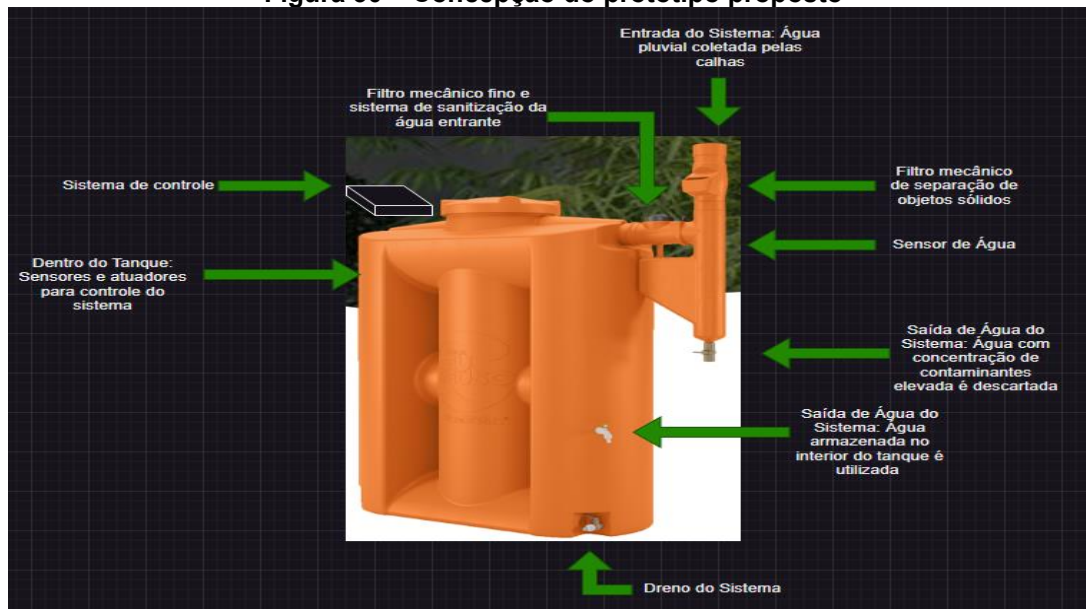
Com base na análise do problema, proposta de solução e componentes comerciais descritos anteriormente, é possível estruturar o projeto de alto nível do sistema, conforme exibido na seção de objetivos.

3.3.1 Descrição Funcional da Eco Cisterna

A eco cisterna utiliza um *display* LCD e um teclado de 2 teclas que possibilitam a interação do usuário com o sistema em questão. Cada tecla possui uma ação pré-definida. O sistema em questão será composto por subsistemas que têm o objetivo de realizar

processos finitos que vão desde a coleta da água de chuva, manutenção de qualidade e uso. A figura 30 ilustra de maneira gráfica o sistema proposto.

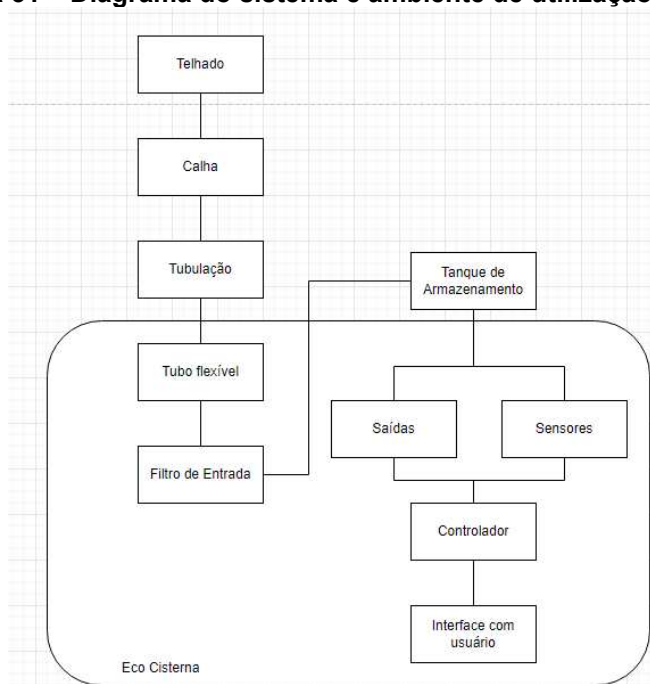
Figura 30 – Concepção do protótipo proposto



Fonte: Tecnotri (2023b) Modificada

A eco cisterna é composta pelos seguintes elementos indicados pela figura 31.

Figura 31 – Diagrama do sistema e ambiente de utilização



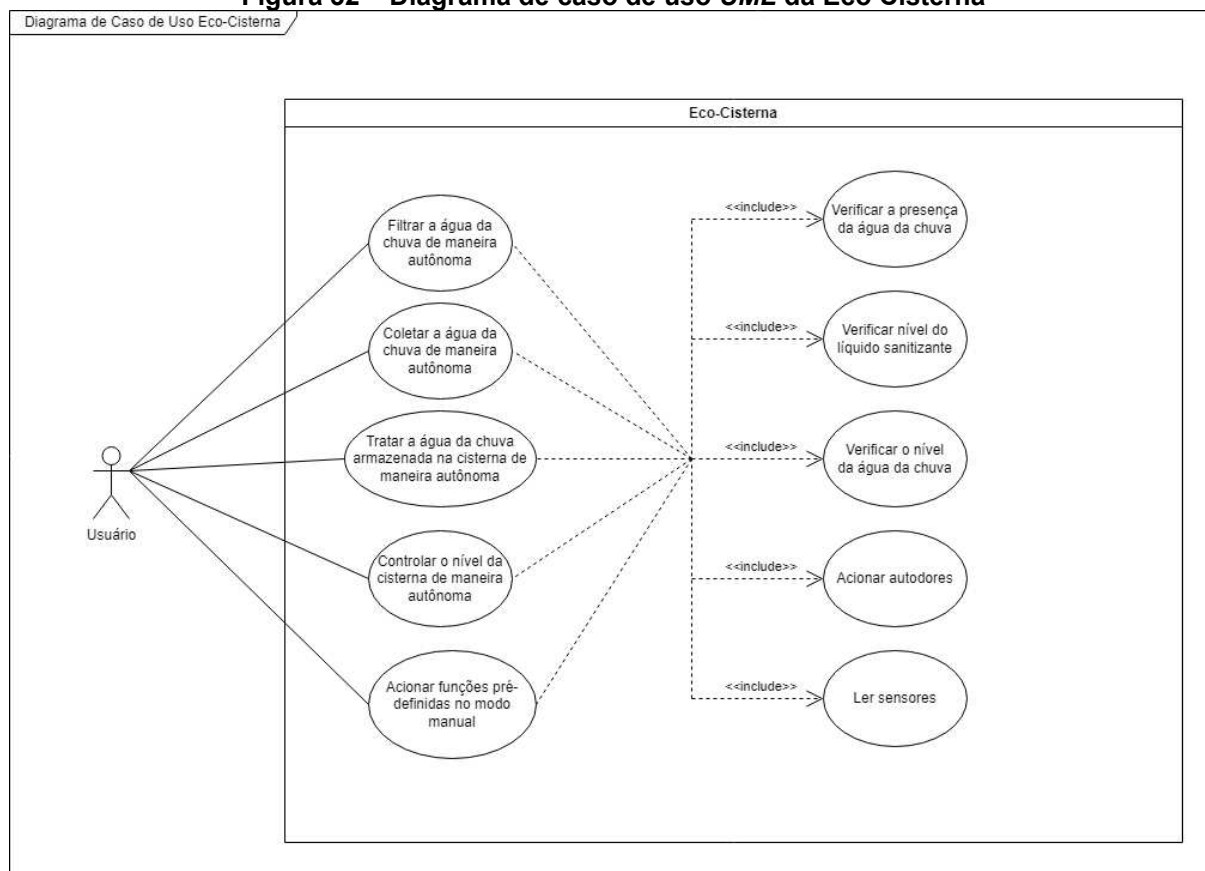
Fonte: Autoria própria (2023)

O telhado, superfície onde a água da chuva tocará, é conectado a canaletas, que têm a função de fazer transporte dessa água. As canaletas por sua vez são conectadas a canos, que possuem a função de transportar a água coletada da chuva para o sistema de gerenciamento da eco-cisterna. Este sistema possui filtros em sua entrada que estão conectados a um tanque de armazenamento, que possui saídas e sensores para melhoria, manutenção da qualidade e uso externo deste líquido. As saídas e sensores estão conectados a um controlador, que possui a função de realizar a comunicação dos periféricos e interação com o usuário.

O Sistema de gerenciamento de cisterna utiliza um *display* LCD e um teclado matricial para realizar a interação com o usuário. No teclado que contém dois botões/teclas, no qual o usuário pode: promover a adição de cloro no tanque, a recirculação interna de água, realizar a leitura da altura do nível de água, a leitura percentual do volume do tanque, a temperatura interna do tanque, o acionamento da bomba para uso pressurizado da água armazenada e a configuração de funções automatizadas das funções citadas anteriormente. Conforme apresentado, o objetivo do produto em questão é realizar a coleta da água da chuva, o tratamento químico adequado para água não potável e uso externo pressurizado da água armazenada.

O sistema em questão possuirá dois estados de operação, manual e automático. O modo manual consiste no uso não periódico de funções pré-definidas, que foram explicadas anteriormente. O modo automático consiste no funcionamento do sistema a partir das leituras dos sensores, isto é, a partir das entradas de dados dos mesmos o sistema realizará a coleta, tratamento e disponibilização da água para usos não potáveis. A figura 32 exibe as principais funcionalidades e objetivos do trabalho.

Figura 32 – Diagrama de caso de uso UML da Eco Cisterna

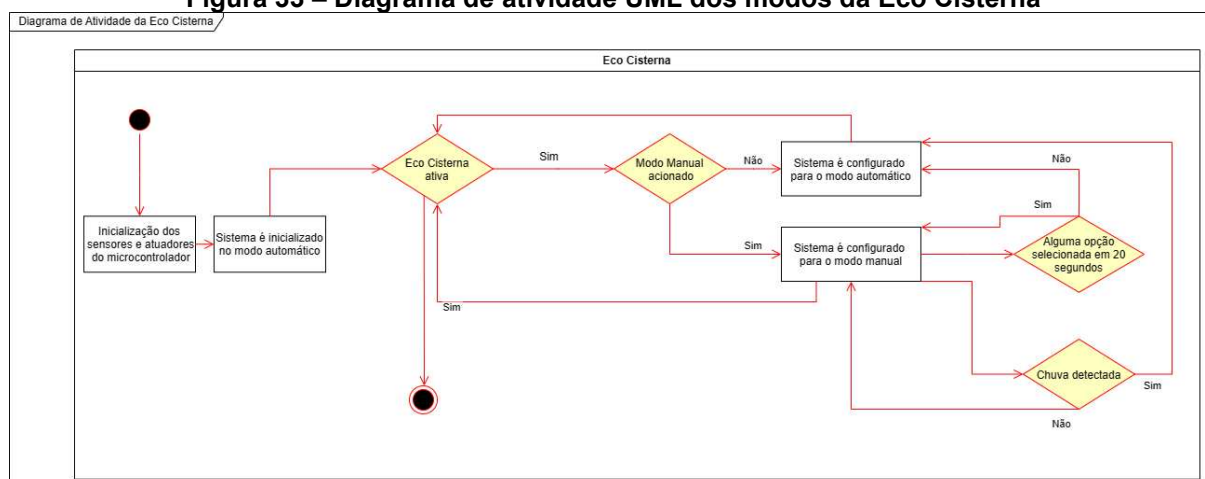


Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.2 Modos de Operação do Sistema

A eco cisterna possui dois modos de operação distintos, sendo estes o manual e o automático, sendo o segundo com prioridade superior ao primeiro. O modo manual tem como função a execução de seis ações bem definidas considerando que tais funções serão executadas caso não esteja ocorrendo chuvas. O modo automático tem como função a automação dos processos de coleta, tratamento e gerenciamento do volume de água existente no produto. A figura 33 exemplifica os modos de operação do sistema assim como as suas transições.

Figura 33 – Diagrama de atividade UML dos modos da Eco Cisterna



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.2.1 Fluxo Automático

No modo automático, todas as operações de coleta, tratamento e gestão da água armazenada no tanque são realizadas. O modo automático foi projetado para ter seis estados distintos: Inicial, Bloqueado, Remoção, Controle, Coleta e Tratamento.

O modo Inicial consiste no estado inicial da eco cisterna, sendo este o designado como o catalisador dos fluxos do sistema. Neste estado os atuadores do sistema são desativados, o *display* é atualizado, o contador do intervalo da última chuva é incrementado e os sensores capacitivos de detecção de chuva e líquido sanitizante são lidos. Neste modo as seguintes transições podem ocorrer:

Transição 1 – Sistema vai para modo bloqueado, caso o reservatório de líquido sanitizante esteja vazio.

Transição 2 – Sistema vai para modo remoção, caso o sensor de detecção de chuva indique positivo e o reservatório de água sanitária esteja preenchido ou caso a detecção da chuva ocorra no intervalo da última chuva superior a 1 hora.

Transição 3 – Sistema vai para modo inicial caso seja detectada a chuva, o reservatório de água sanitária esteja preenchido e o intervalo da última chuva é inferior a 1 hora.

Transição 4 – Sistema vai para modo tratamento caso o reservatório de água sanitária esteja preenchido e não ocorra a detecção de chuva na última 1 hora.

Transição 5 – Sistema vai para modo manual caso o reservatório de água sanitária esteja preenchido, não ocorra a detecção de chuva e o botão S1 esteja pressionado.

O modo Bloqueado consiste no estado de falta de líquido sanitizante da eco cisterna, sendo este o designado para caso em que o reservatório de líquido sanitizante está vazio. Neste estado o *display* é atualizado, a água pluvial é descartada (caso seja detectada a presença de água no sistema) e os sensores capacitivos de detecção de chuva e líquido sanitizante são lidos. Neste modo as seguintes transições podem ocorrer:

Transição 6 – Sistema vai para modo bloqueado, caso o reservatório de líquido sanitizante esteja vazio.

Transição 7 – Sistema vai para modo inicial, caso o reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido.

O modo Remoção consiste no estado de remoção da água com alto índice de contaminantes da eco cisterna. Neste estado o *display* é atualizado, a água pluvial é descartada (caso seja detectada a presença de água no sistema) e os sensores capacitivos de detecção de chuva e líquido sanitizante são lidos. Neste modo as seguintes transições podem ocorrer:

Transição 8 – Sistema vai para modo bloqueado, caso o reservatório de líquido sanitizante esteja vazio.

Transição 9 – Sistema vai para modo inicial, caso o sensor de detecção de chuva não indique a presença da água pluvial e o reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido.

Transição 10 – Sistema vai para modo controle, caso o sensor de detecção de chuva indique a presença da água pluvial, o reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido e o nível de água no tanque esteja preenchido com mais que 95% da capacidade.

Transição 11 – Sistema vai para modo coleção, caso o sensor de detecção de chuva indique a presença da água pluvial, o reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido e o nível de água no tanque esteja preenchido com mais que 95% da capacidade.

O modo Coleta consiste no estado de coleta da água pluvial da eco cisterna. Neste estado o *display* é atualizado, a água pluvial é coletada e os sensores capacitivos de detecção de chuva e líquido sanitizante são lidos. Neste modo as seguintes transições podem ocorrer:

Transição 12 – Sistema vai para modo bloqueado, caso o reservatório de líquido sanitizante esteja vazio.

Transição 13 – Sistema vai para modo controle, caso o sensor de detecção de chuva indique a presença da água pluvial, reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido e o nível de água no tanque esteja preenchido com mais que 95% da capacidade.

Transição 14 – Sistema vai para modo coleção, caso o sensor de detecção de chuva indique a presença da água pluvial, reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido e o nível de água no tanque esteja preenchido com menos que 95% da capacidade.

Transição 15 – Sistema vai para modo tratamento, caso o sensor de detecção de chuva não indique a presença da água pluvial e o reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido.

O modo Controle consiste no estado de controle do nível de água da eco cisterna. Neste estado o *display* é atualizado, a água pluvial é descartada (caso seja detectada a presença de água no sistema) e os sensores capacitivos de detecção de chuva e líquido sanitizante são lidos. Neste modo as seguintes transições podem ocorrer:

Transição 16 – Sistema vai para modo bloqueado, caso o reservatório de líquido sanitizante esteja vazio.

Transição 17 – Sistema vai para modo controle, caso o sensor de detecção de chuva indique a presença da água pluvial, reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido e o nível de água no tanque esteja preenchido com mais que 95% da capacidade.

Transição 18 – Sistema vai para modo coleção, caso o sensor de detecção de chuva indique a presença da água pluvial, reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido e o nível de água no tanque esteja preenchido com menos que 95% da capacidade.

Transição 19 – Sistema vai para modo tratamento, caso o sensor de detecção de chuva não indique a presença da água pluvial e o reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido.

O modo Tratamento consiste no estado de tratamento da eco cisterna. Neste estado o *display* é atualizado, a água pluvial é descartada (caso seja detectada a presença de água no sistema) e os sensores capacitivos de detecção de chuva e líquido sanitizante são lidos. Neste modo as seguintes transições podem ocorrer:

Transição 20 – Sistema vai para modo bloqueado, caso o reservatório de líquido sanitizante esteja vazio.

Transição 21 – Sistema vai para modo inicial quando o tratamento da água é finalizado e não seja detectada a chuva pluvial.

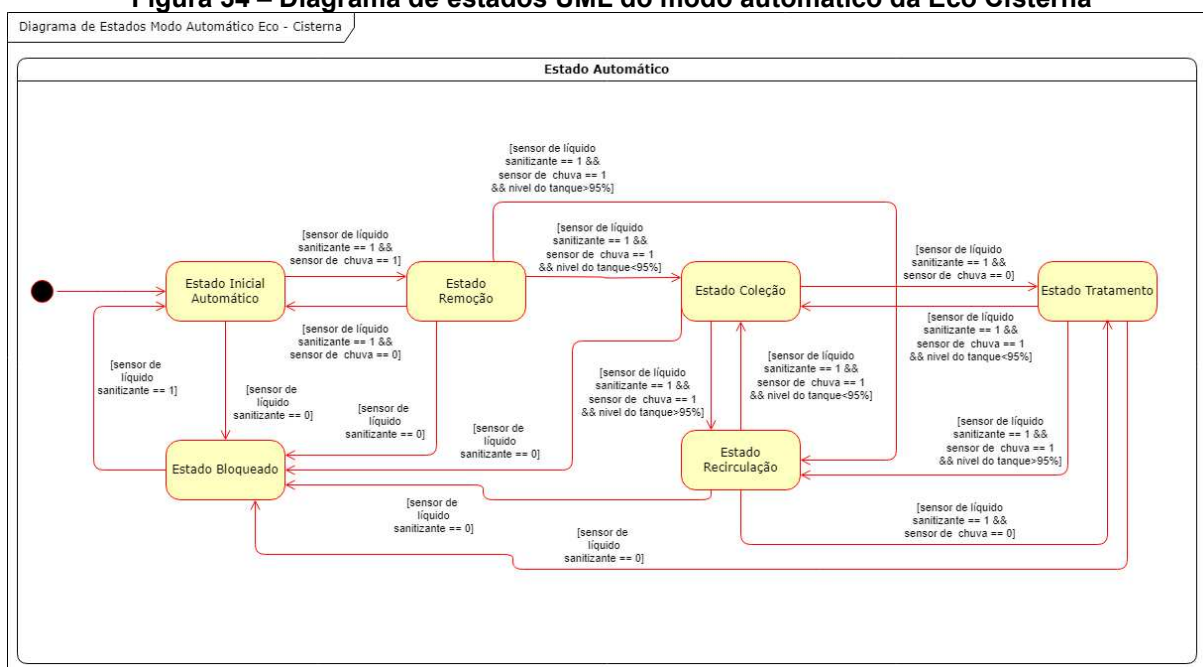
Transição 22 – Sistema vai para modo controle, caso o sensor de detecção de chuva indique a presença da água pluvial, reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido e o nível de água no tanque esteja preenchido com mais que 95% da capacidade.

Transição 23 – Sistema vai para modo de coleta, caso o sensor de detecção de chuva indique a presença da água pluvial, reservatório de líquido sanitizante esteja preenchido e o nível de água no tanque esteja preenchido com menos que 95% da capacidade.

Considerando o contexto em que o sistema esteja no modo manual e chuva seja detectada, a eco cisterna é configurada para o modo automático, independente do estado manual no qual o sistema se encontre.

As possíveis transições de estados são as seguintes, conforme exibido pela figura 34.

Figura 34 – Diagrama de estados UML do modo automático da Eco Cisterna



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.2.2 Fluxo Manual

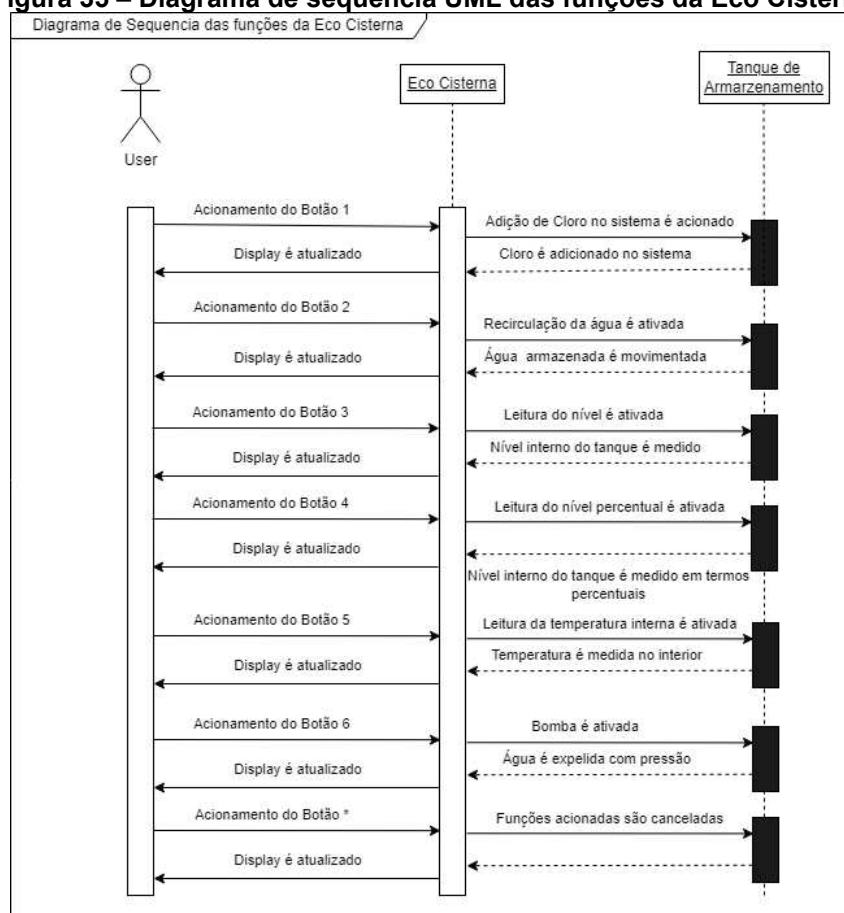
No modo manual, toda a interação com o usuário é feita através do *display* LCD e teclado com 2 botões, sendo que cada um deste possui uma função atribuída a uma funcionalidade do produto.

O controle do usuário é realizado com a seguinte lógica para as funções manuais do produto: inicialmente o *display* mostra uma tela inicial com informações relativas a variáveis

relevantes a qualidade da água da chuva e se nenhuma tecla for acionada o *display* exibirá a tela de inicial continuamente. Caso uma tecla seja acionada, o *display* exibirá as possíveis funções que o usuário pode escolher e de acordo com a numeração escolhida a função será executada por um tempo padrão. No final do período, a execução da função é finalizada voltando à tela inicial.

O fluxograma abaixo exemplifica o modo de operação manual do produto, conforme a figura 35 demonstra.

Figura 35 – Diagrama de sequência UML das funções da Eco Cisterna



Fonte: Autoria própria (2023)

A função manual de promover a adição de cloro no sistema (opção 1) tem o objetivo de realizar o tratamento químico básico da água, que é a remoção de componentes orgânicos maléficos e redução da turbidez relativa, com intenção de possibilitar o uso prolongado da água coletada na chuva. Tal função é relevante pois ao ocorrer o contato da água pluvial com uma superfície, (no contexto deste trabalho, os telhados), há contaminação da mesma, causando a redução da qualidade da água que posteriormente será tratada por filtros, barreiras e agentes químicos. Esse tratamento possibilita a melhoria

da qualidade da água armazenada, tendo como consequência o aumento do tempo que este líquido poderá ficar armazenado e utilizado.

A função manual da recirculação interna da água (opção 2) tem o objetivo de promover a movimentação interna do volume de água armazenado com o objetivo de promover a oxigenação do líquido em questão, atividade que possui relevância quando se trata de líquidos armazenados estaticamente. A água pluvial contém partículas inorgânicas e orgânicas, sendo o equilíbrio numérico entre essas partículas importantes para a conservação da qualidade da água que está armazenada de maneira estática. Quando a água fica em ambiente sem circulação e comunicação com o ambiente externo, ocorre o acúmulo de gases e substâncias inadequadas. Como o produto proposto em questão busca promover a coleta, uso, tratamento e armazenagem adequada para períodos superiores, a etapa da recirculação se mostra essencial ao produto.

A função manual da leitura do nível de água (opção 3) tem o objetivo de trazer ao usuário a informação da altura que a água está em relação ao fundo do tanque, útil para se ter uma noção do volume deste líquido disponível, para ser usado posteriormente. Como será utilizado uma bomba para a pressurização de água, é essencial a noção do volume de água que se tem no tanque, visto que um baixo volume da mesma causará problemas futuros ao usuário, como a perda da bomba, por exemplo.

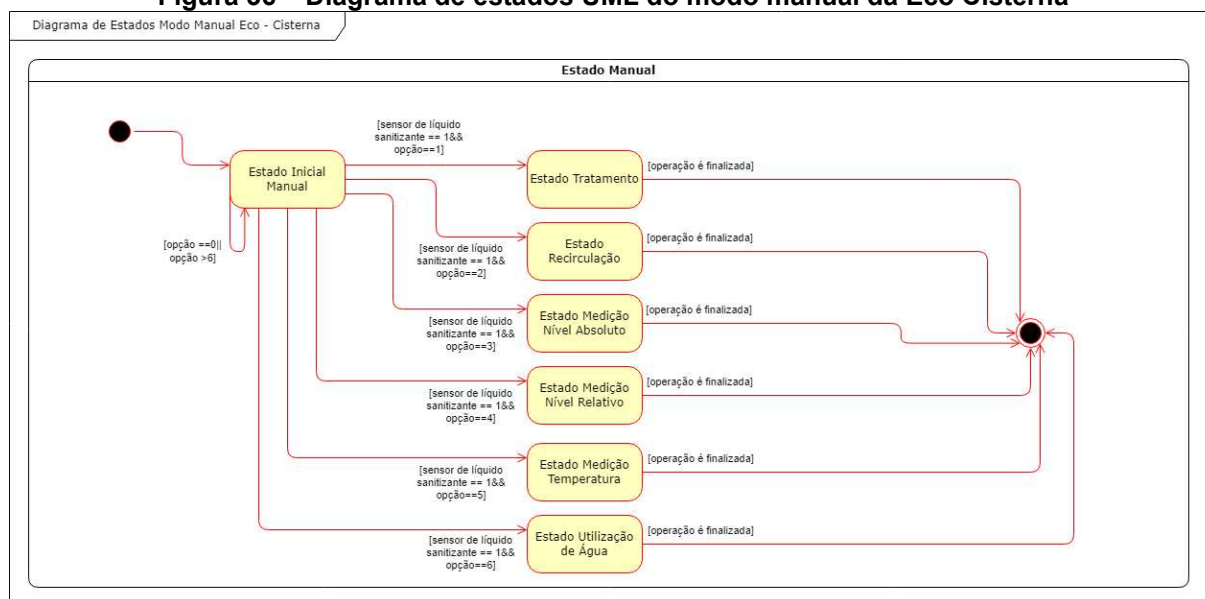
A função manual da leitura percentual do volume do tanque (opção 4) tem o objetivo de trazer ao usuário a informação relativa ao volume de água em relação ao total do tanque, informação relevante que será utilizada para o uso externo. Como será utilizado uma bomba para a pressurização de água, é essencial a noção do volume de água que se tem no tanque, visto que um baixo volume da mesma causará problemas futuros ao usuário. Além disso, quando consideramos o cenário de potenciais chuvas, a noção do volume de água que pode ser preenchido se torna relevante.

A função manual da leitura da temperatura interna do tanque (opção 5) tem o objetivo de trazer ao usuário a informação da temperatura no interior do tanque, informação relevante que está diretamente relacionada ao condicionamento físico-químico da água armazenada no tanque. A temperatura interna de um líquido em tanque é uma variável de grande valor, pois se a mesma for elevada ocorrerá a proliferação de partículas indesejadas que possuem características nocivas ao uso externo projetado.

A função manual do acionamento da bomba (opção 6) para uso pressurizado da água armazenada tem o cunho de promover a utilização da água armazenada em médias distâncias, uso relevante para o nicho de mercado no qual o sistema está inserido. Como

o tanque do protótipo possui volume reduzido, a pressão na saída é naturalmente baixa, sendo essencial ao produto o aumento da saída de água que tem como objetivo o uso em médias distâncias. No cenário de utilização de produtos que tratam sobre a coleta da água de chuva, o uso de estruturas (baldes, bacias) para o transporte de água se torna desnecessário com esta funcionalidade. Funções fora do intervalo de 1 a 6 não são permitidas. A figura 36 representa as opções 1 a 6 e suas funções associadas.

Figura 36 – Diagrama de estados UML do modo manual da Eco Cisterna



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.3 Desenvolvimento do *Firmware*

O desenvolvimento do software embarcado que será executado na placa de desenvolvimento foi realizado a partir do estudo da plataforma de hardware, assim como a documentação disponível do site da empresa que desenvolve o kit de desenvolvimento. Este processo de desenvolvimento foi dividido em etapas discretas, sendo a primeira a interface com os sensores, a segunda com os atuadores e por último a máquina de estados do sistema da eco cisterna. O padrão arquitetural de desenvolvimento da família ARM foi utilizada como manual de referência para o desenvolvimento dos componentes de software da solução proposta.

3.3.3.1 Desenvolvimento da Interface com Sensores

O desenvolvimento da interface com os sensores utilizados no trabalho em questão foi realizado a partir do estudo dos protocolos de cada sensor, periféricos e recursos de hardware da placa de desenvolvimento.

O sensor de temperatura LM35 tem como base funcional a conversão da temperatura (manifestação física) em uma medida elétrica (tensão). Este sensor é capaz de medir de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$ com resolução de $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, sendo a conversão da temperatura em tensão feita por um transdutor interno. Considerando que o conversor AD/DA possui 4096 níveis e tensão vai de 0 a 5V, cada 10 mV equivale a 122,1 níveis lógicos.

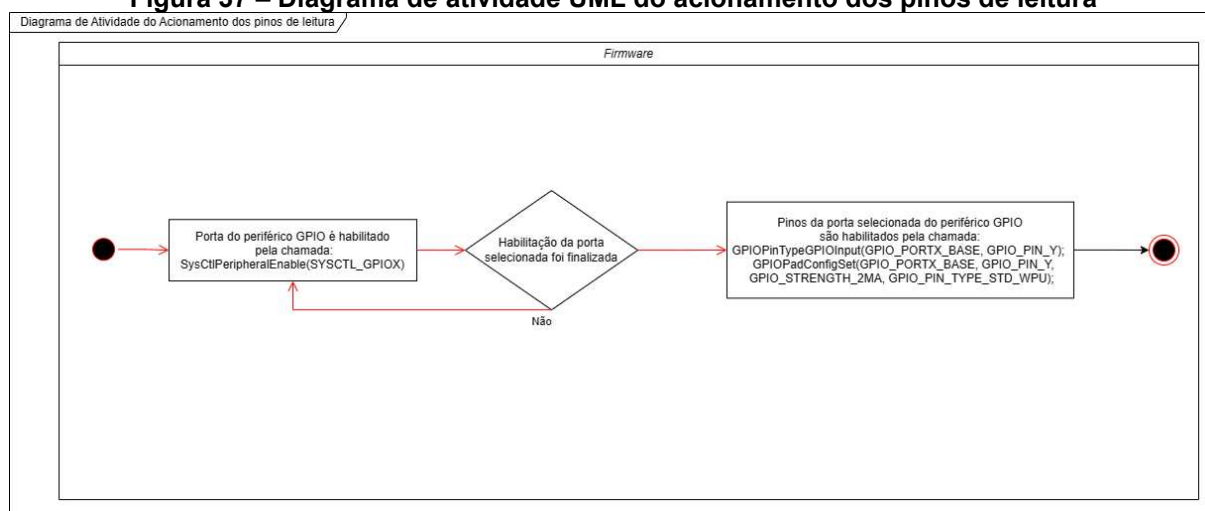
O sensor de temperatura do *Booster Kit* da *Texas Instruments* (Sensor Termo pilha Infravermelho TMP 006) tem princípio idêntico do sensor LM35, porém este sensor apresenta a utilização de um protocolo I2C para a comunicação com o microcontrolador. Este sensor é capaz de medir de -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$ com a alimentação elétrica de 5 volts positivos, sendo a conversão da temperatura em tensão feita por um transdutor interno. A leitura de tal sensor pode ser feita pela interrupção no barramento I2C.

O sensor de detecção de presença de água capacitivo XKC-Y25-V tem como base funcional a detecção de líquidos. por meio da variação da capacitância da ponta de detecção. Este sensor é capaz de medir líquidos a uma distância máxima de 20 mm, sendo o sinal de saída do sensor inverso ao do modo de operação escolhida.

O sensor ultrassônico HC-SR04 tem como base funcional o par de receptor/transmissor de pulsos de som, sendo a leitura da distância feita por cálculos matemáticos de distância de acordo com o intervalo de tempo entre os pulsos em questão. Este sensor é capaz de medir distâncias 5 cm a 2 metros, sendo a medição de tempo realizada com timeres do microcontrolador.

O fluxo geral de interfaceamento dos sensores é dado pela figura 37, no qual é possível verificar as etapas de acionamento dos pinos de leitura do periférico *GPIO*. Os pinos PA5, PK2, PK1 e PK0 serão configurados segundo este fluxo.

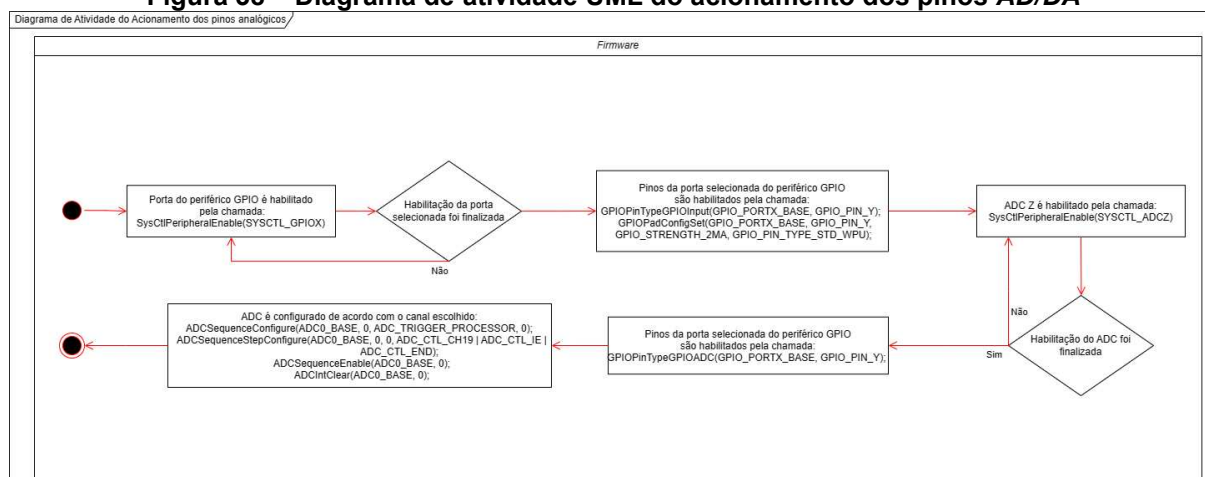
Figura 37 – Diagrama de atividade UML do acionamento dos pinos de leitura



Fonte: Autoria própria (2023)

O pino PK3, que será usado para leitura do conversor analógico digital (*AD/DA*) necessita de uma sequência especial de acionamento, sendo está descrita pela figura 38. O processo de ativação do *ADC* consiste em habilitar a porta do microcontrolador, assim como o *ADC* e, por sua vez a configuração do pino e configuração deste periférico foi feita pela definição dos registradores de baixo nível.

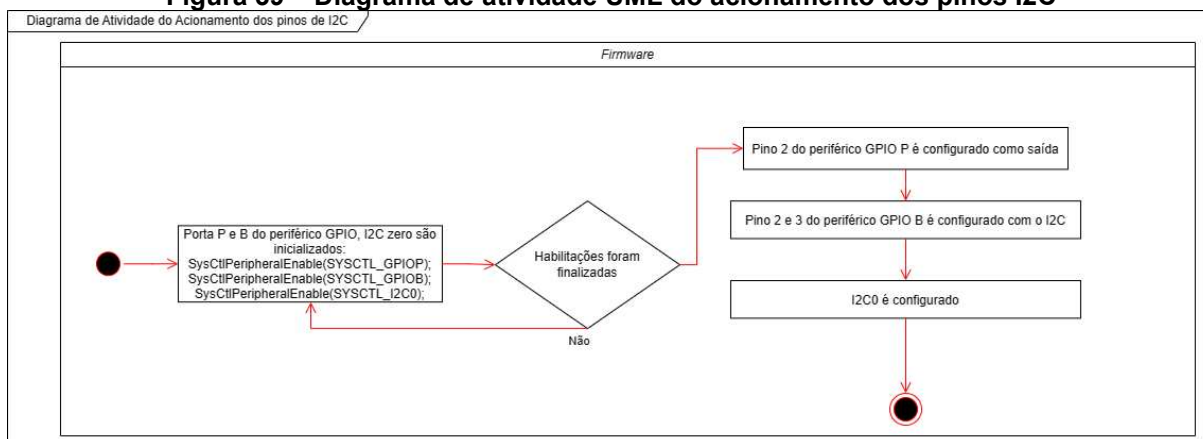
Figura 38 – Diagrama de atividade UML do acionamento dos pinos *AD/DA*



Fonte: Autoria própria (2023)

Os pinos PB2 e PB3, que serão usados para leitura da temperatura necessitam de uma sequência especial de acionamento, sendo está descrita pela figura 39. O processo de ativação deste componente consiste em habilitar a porta do microcontrolador, assim como o *ADC* e *I2C*, por sua vez a configuração do pino e configuração deste periférico foi feita pela definição dos registradores de baixo nível.

Figura 39 – Diagrama de atividade UML do acionamento dos pinos I2C



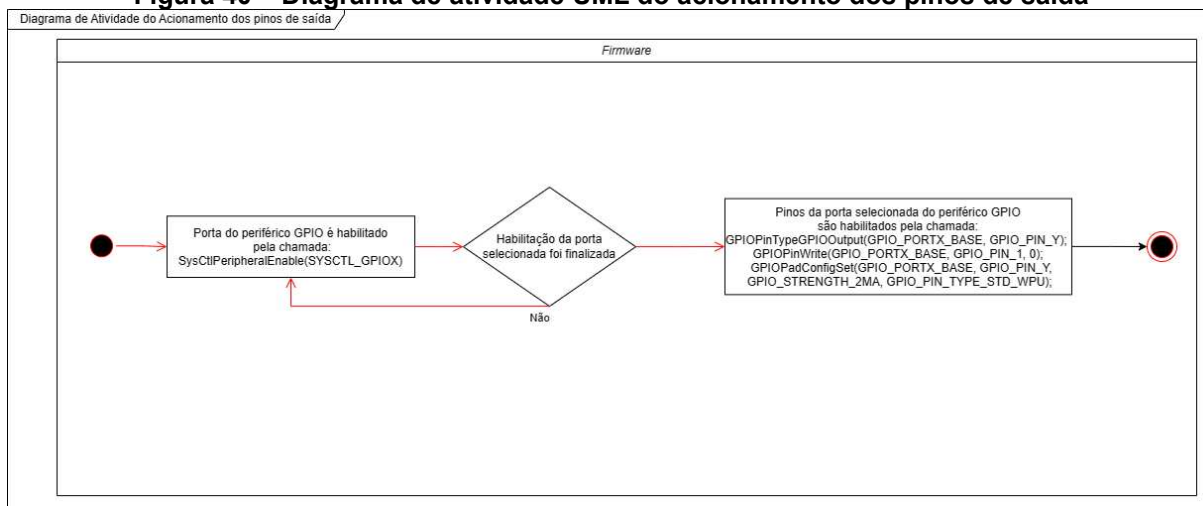
Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.3.2 Desenvolvimento da Interface com Atuadores

O desenvolvimento da interface com os atuadores utilizados no trabalho em questão foi realizado a partir do estudo dos protocolos de cada sensor, periféricos e recursos de hardware da placa de desenvolvimento.

Os atuadores são controlados pelo par relé/opto acopladores disponíveis na placa de relés. Os pinos que serão utilizados para controle destes serão os pinos PH1, PH0, PM2, PM1. O pino PA4 será utilizado para gerar o pulso ultrassônico que será utilizado para a leitura de distância. O fluxo geral de interfaceamento dos atuadores é dado pela figura 40, no qual é possível verificar as etapas de acionamento dos pinos de leitura do periférico *GPIO*.

Figura 40 – Diagrama de atividade UML do acionamento dos pinos de saída



Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.3.3 Desenvolvimento da Máquina de Estados

O desenvolvimento do software embarcado que será executado na placa de desenvolvimento foi realizado a partir do estudo da plataforma de hardware, sensores e atuadores. A eco cisterna possui 2 estados de operações distintos, o manual e automático, sendo que cada um destes estados possui uma hierarquia de estados para o funcionamento do sistema.

No total há 13 estados no sistema, sendo 6 destes para o estado automático e 7 para o modo de operação manual. Duas variáveis de tipos definidos foram criadas para a implementação do sistema em questão.

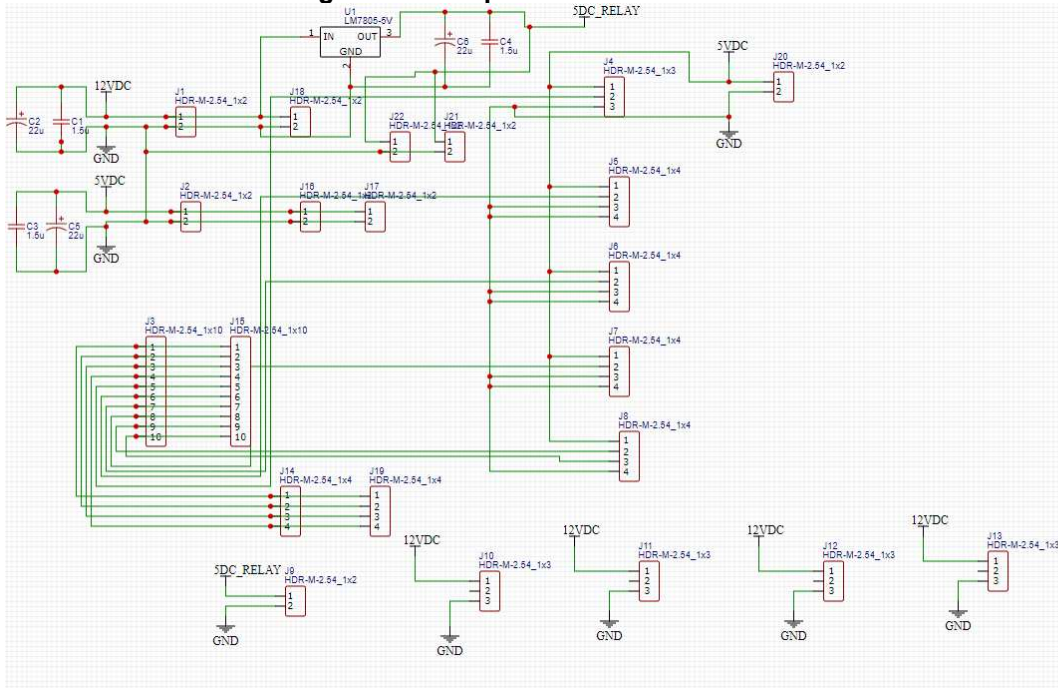
O processo de funcionamento da máquina de estados encontra-se detalhado na seção 3.3.2 deste documento.

3.3.4 Desenvolvimento do Hardware

O desenvolvimento do hardware da eco cisterna foi realizado a partir da coleta de requisitos dos pinos da placa micro controladora, assim como o levantamento de componentes físicos, roteamento de sinais e níveis de tensão/corrente elétrica para cada sensor/atuador. Os pinos da placa de desenvolvimentos utilizados no trabalho serão os seguintes: +5V, *GND*, PH1, PH0, PM2, PM1, PK3, PK2, PK1, PK0, PA5 e PA4. Os componentes físicos são os seguintes: barra de pinos, conversor de tensão LM7805, capacitores cerâmicos e eletrolíticos. Os sensores serão conectados nos pinos do microcontrolador PK3, PK2, PK1, PK0, PA5, PA4, +5V e *GND* da placa de desenvolvimentos. A placa de atuadores é conectada aos pinos PH1, PH0, PM2, PM1, 5V (gerado a partir do 12V/conversor de tensão LM7805) e *GND*. Os atuadores são conectados nas saídas dos relés e na tensão de 12V.

Com as informações de sinais, pinos e tensão de cada componente o esquemático da placa de conexão (denominada de Placa Conectora) foi elaborado e demonstrado a partir da figura 41.

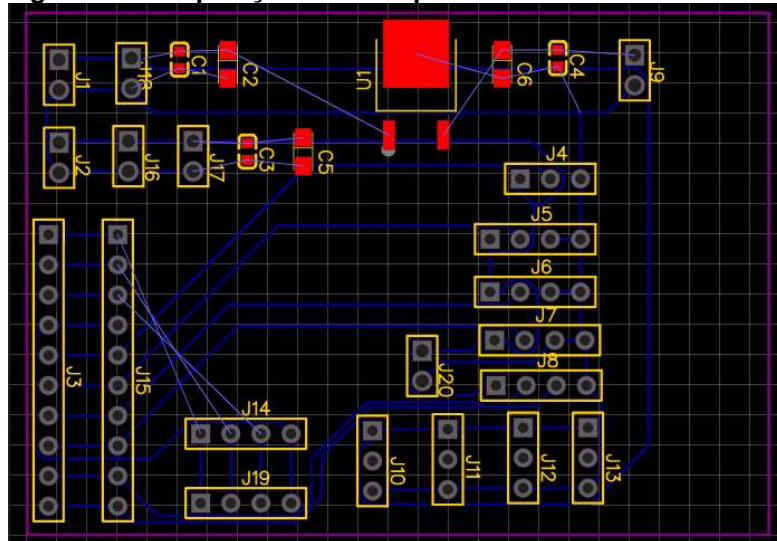
Figura 41 – Esquemático da Placa Conectora



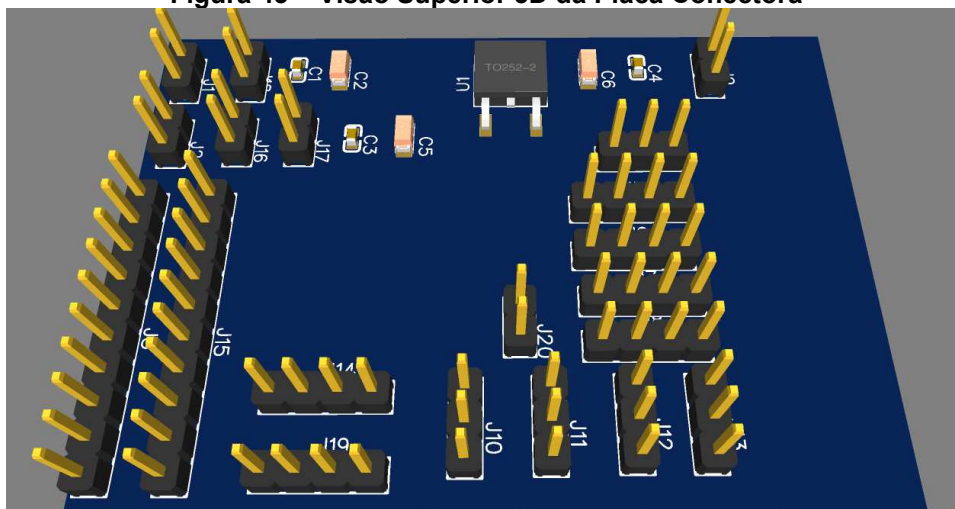
Fonte: Autoria própria (2023)

A partir do diagrama da placa conectora, os componentes físicos foram arranjados na visão bidimensional do circuito e o roteamento foi executado a partir das especificações de vias e número de camadas. Após o roteamento ser executado, os artefatos da implementação física foram obtidos e exemplificados nas figuras 42, 43 e 44, sendo a primeira a composição física aliada ao roteamento de sinais, a segunda a visão tridimensional superior dos componentes e a terceira, a visão tridimensional inferior dos componentes.

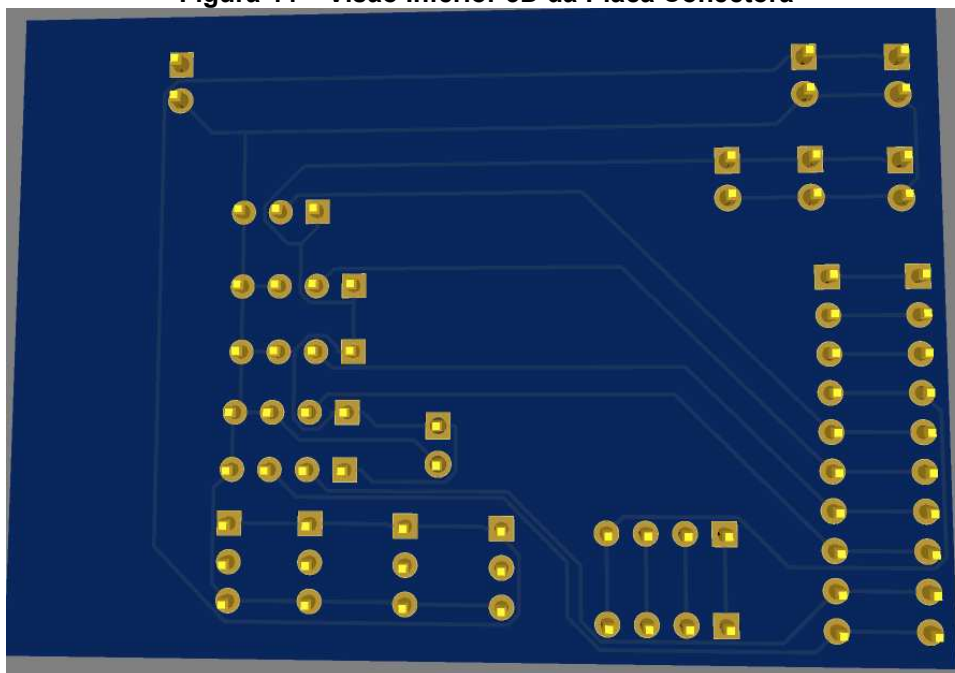
Figura 42 – Disposição dos componentes da Placa Conectora



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 43 – Visão Superior 3D da Placa Conectora

Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 44 – Visão Inferior 3D da Placa Conectora

Fonte: Autoria própria (2023)

3.3.5 Desenvolvimento do Protótipo da Eco Cisterna

O desenvolvimento do protótipo foi realizado a partir do estudo do trabalho do filtro e componentes já descritos em etapas anteriores do trabalho. Este processo de desenvolvimento foi dividido em etapas discretas, sendo a primeira o desenvolvimento do filtro, a segunda o encapsulamento do trabalho.

3.3.5.1 Desenvolvimento do Filtro

O desenvolvimento do filtro de componentes sólidos foi realizado a partir do estudo da água da chuva e seus componentes contaminantes assim como os métodos de filtragem relevados nas seções anteriores do trabalho em questão. A água da chuva apresenta três fontes de contaminação, a primeira sendo aquela que ocorre pela passagem da água da chuva nas camadas baixas da atmosfera, a segunda, no momento em que este líquido tem contato físico superfícies contaminadas e a terceira devido ao no armazenamento em tanques incorretos. Nestas fontes de contaminação, a presença de materiais orgânicos e inorgânicos é relevante para a determinação de qual método de filtragem é o adequado para o uso não potável.

A filtragem da água da chuva por meio de tramas metálicas associadas a malhas finas é considerada algo eficiente para usos não potáveis pois cerca de 90% dos objetos que contaminam a água da chuva são barrados. Para tanto, o filtro foi projetado de acordo com as figuras 45, 46 e 47.

Figura 45 – Visão externa do filtro proposto



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 46 – Visão expandida do filtro proposto



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 47 – Subcomponentes do filtro posto



Fonte: Autoria própria (2023)

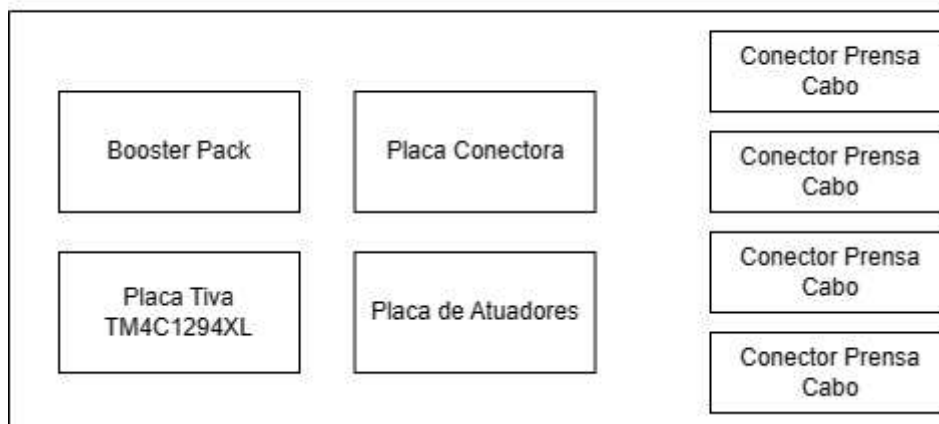
3.3.5.2 Desenvolvimento do Protótipo do Controlador

O desenvolvimento do protótipo de validação do sistema de coleta, armazenamento, tratamento e disposição foi realizado a partir do desenvolvimento dos componentes de *hardware* e *software*, e compra de componentes comerciais.

A composição física do protótipo em questão está exemplificada na figura 48, na qual todos os componentes do trabalho estão dispostos.

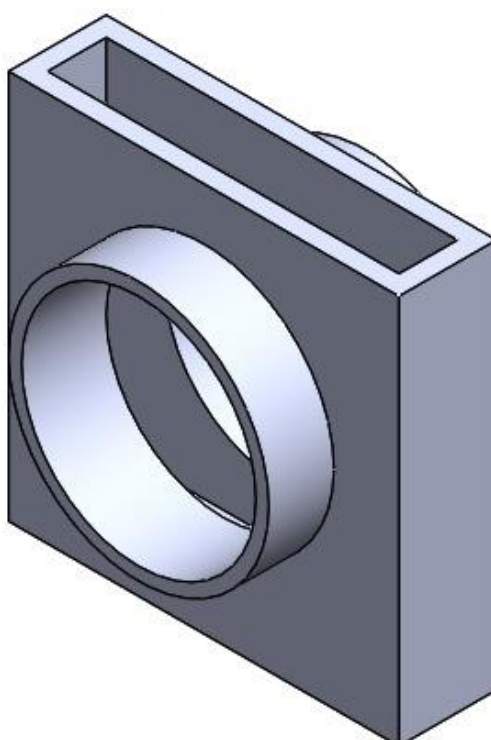
Figura 48 – Composição física da Eco Cisterna

Arranjo Físico Eco Cisterna



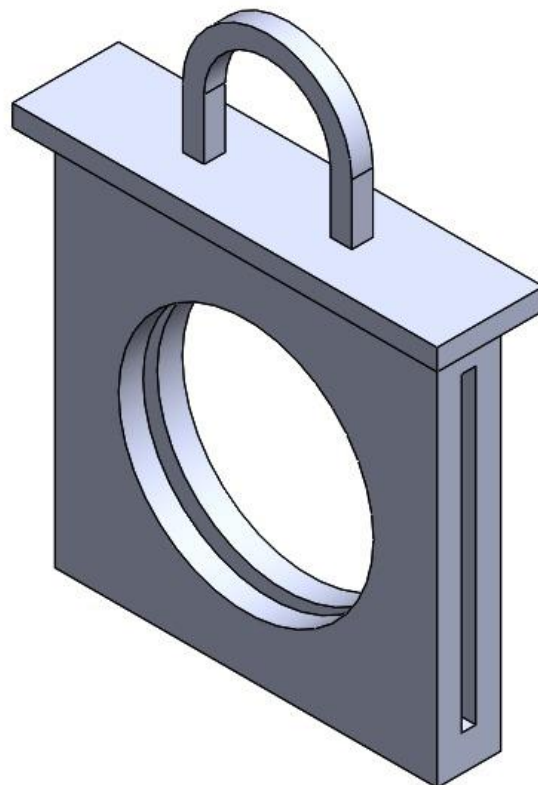
Fonte: Autoria própria (2023)

As visões externas do trabalho estão disponibilizadas nas figuras 49 e 50.

Figura 49 – Visão externa do encapsulamento do trabalho

Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 50 – Visão explodida do encapsulamento do trabalho



Fonte: Autoria própria (2023)

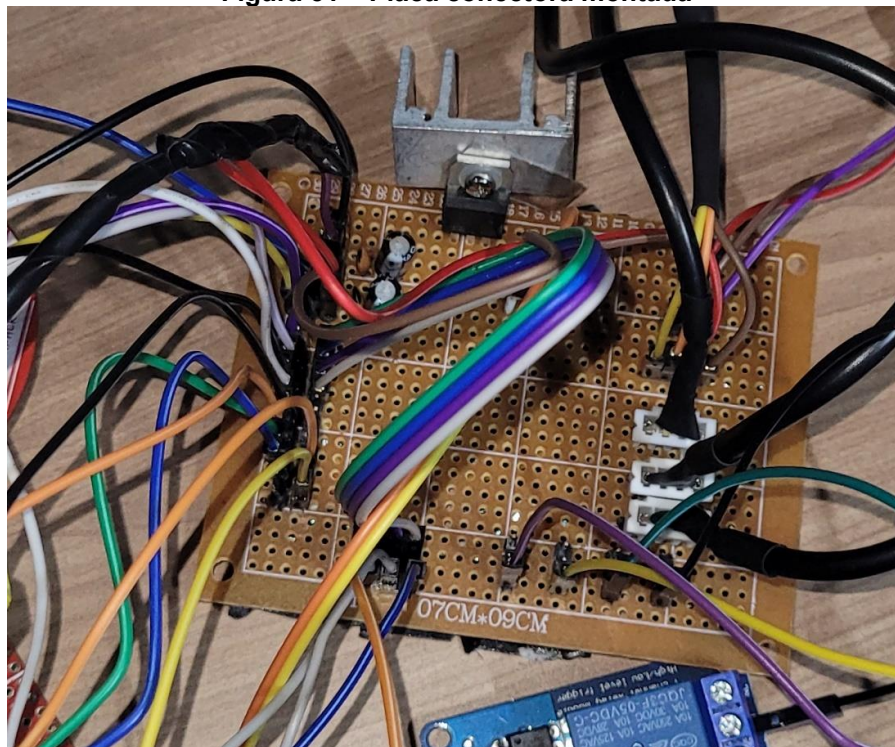
3.4 Implementação do Protótipo

A montagem do protótipo de validação será apresentada nas etapas posteriores, a partir da montagem da placa conectora, do protótipo mecânico, da caixa de controle e montagem final do sistema.

3.4.1 Implementação da placa eletrônica conectora

A montagem da placa eletrônica conectora foi realizada a partir da seção 3.3.3, no qual, os detalhes dos componentes, ligações elétricas e disposição física dos mesmos está disponível. Os componentes foram adquiridos em lojas comerciais e montados por este autor, sendo o produto final exibido na figura 51.

Figura 51 – Placa conectora montada



Fonte: Autoria própria (2023)

3.4.2 Implementação do protótipo mecânico

A montagem do protótipo mecânico foi realizada a partir da aquisição dos componentes hidráulicos em lojas comerciais. Este protótipo foi concebido por uma caixa de coleta de esgoto e conectores de tubos sendo o protótipo mecânico exibido na figura 52.

Figura 52 – Protótipo Mecânico

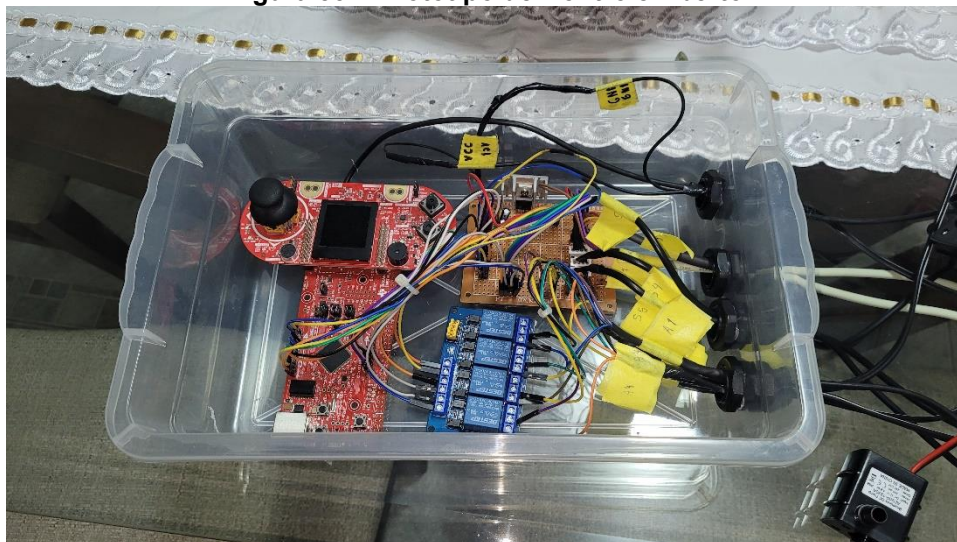


Fonte: Autoria própria (2023)

3.4.3 Implementação da caixa de controle

A montagem da caixa de controle foi realizada a partir da montagem da placa conectora eletrônica e aquisição de materiais elétricos em lojas comerciais. Este protótipo foi concebido por uma caixa plástica e conectores prensa cabo, sendo o protótipo mecânico exibidos nas figuras 53 e 54.

Figura 53 – Protótipo de Controle Aberto



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 54 – Protótipo de Controle Fechado



Fonte: Autoria própria (2023)

3.4.4 Implementação final do sistema

A montagem final do sistema de controle foi realizada a partir da montagem da placa conectora eletrônica, sistema de controle eletrônico e do protótipo mecânico. A figura 55 demonstra a montagem final do sistema em seu ambiente de funcionamento.

Figura 55 – Protótipo Final do Sistema



Fonte: Autoria própria (2023)

4 TESTES

O capítulo em questão tem o objetivo de descrever as validações do trabalho em questão (eco cisterna) explícito nos tópicos anteriores. Os tópicos iniciais (introdução, fundamentos teóricos e processo de desenvolvimento) deste trabalho são a base das verificações funcionais descritas nos itens a seguir.

4.1 Testes de unidades dos componentes

Os testes unitários foram divididos em quatro subcategorias: (i) testes de bancada, (ii) testes da placa conectora, (iii) testes do *firmware*, (iv) testes da montagem mecânica e (v) testes de montagem de protótipo. O objetivo destes testes é a verificação funcional dos pequenos componentes de maneira isolada previamente à montagem final do protótipo. A verificação funcional dos componentes garante o reconhecimento de erros a serem corrigidos, facilitando a mitigação nas etapas posteriores com causa facilmente encontrada. Um exemplo deste teste no trabalho em questão é a verificação funcional da placa conectora, que funciona como o ponto de interligação dos pinos do microcontrolador ao mundo externo e placa de relés do sistema.

4.1.1 Testes da placa eletrônica conectora

Após a montagem da placa eletrônica conectora, uma sequência de testes foi realizada para a verificação funcional do componente em questão. Inicialmente a garantia de continuidade dos terminais na parte inferior e superior da placa foi realizada com um multímetro na configuração de continuidade, sendo a próxima etapa a verificação da presença de sinais de tensão positivo em diversos pontos da placa, assim como os de aterramento. Como etapa de validação final da placa, os sinais de 5V e 12V foram conectados e a leitura de todos os sensores, assim como a ativação dos atuadores foram verificadas. Alguns dos testes estão listados abaixo:

- Teste da conexão elétrica dos componentes
- Teste de condutividade dos componentes
- Verificação da tensão de 12V nos terminais esperados
- Verificação da tensão de 5V derivado do conversor de tensão nos terminais esperados
- Verificação da tensão de 5V do microcontrolador nos terminais esperados

- Verificação do aterramento nos terminais esperados

4.1.2 Testes de bancada do sistema

Após a montagem da placa conectora e conexão dos sensores/atuadores, assim como os sinais de tensão distintos, uma sequência de testes foi realizada para a verificação funcional do componente em questão. Inicialmente testes nos quais as saídas e entradas são controlados, a verificação dos estados do sistema, assim como as possíveis transições de estado foram realizadas. Os sensores foram verificados, no sentido de que todas as variações de saídas foram comparadas com as informações disponíveis no *datasheet* de cada sensor. Os atuadores foram testados, de acordo com as informações disponíveis nos guias/materiais técnicos, assim como as especificações de consumo elétrico.

4.1.3 Testes do *firmware*

Após os testes de componente e bancada do sistema, outros testes foram realizados no *firmware*. A análise de código estática foi realizada para cada linha de código que foi executada no microcontrolador, no sentido de verificar se não irá ocorrer condições de corrida por recursos, assim como manipulação de variáveis em locais incorretos (ou em modos não permitidos). Validações adicionais como a verificação de estados redundantes ou transições incorretas também foram verificadas.

4.1.4 Testes da montagem mecânica

Os testes da montagem mecânica foram realizados após os testes da placa eletrônica, da montagem de bancada e do *firmware*. Os testes desta etapa buscam verificar a qualidade da montagem do sistema, desde a ligação dos componentes, a busca de pontos frágeis, assim como os vazamentos nos filtros e conexões intermediárias. A estabilidade e rigidez do sistema também foi verificada a fim de se garantir boa qualidade da construção.

4.1.5 Testes da montagem do protótipo final

Os testes da montagem mecânica foram realizados após os testes da placa eletrônica, da montagem de bancada e do *firmware*. Os testes desta etapa buscam verificar a qualidade da montagem do sistema, desde a ligação dos componentes, a busca de vazamentos do sistema, assim como os vazamentos nos filtros e conexões intermediárias. A verificação geral da estrutura do sistema proposto foi realizada como etapa final dos testes pré integração.

4.2 Testes de integração de componentes

Ao final da validação dos testes unitários e verificação funcional, a união dos subcomponentes foi realizada. Nessa etapa, de maneira análoga aos testes funcionais, o conjunto de unidades foram verificados com entradas e saídas dos sistemas conhecidos, assim como as possíveis transições dos sistemas, conforme o funcionamento do descrito na seção 3.3.3.

Um exemplo do teste integração é a verificação da conexão elétrica entre os pinos do microcontrolador, placa conectora, sensores e atuadores do trabalho. A garantia de qualidade das ligações elétricas e montagem mecânica foram realizadas nesta etapa.

4.3 Testes de validação do sistema

Para o sistema proposto, os testes de validação do sistema são relacionados a verificação dos fluxos de operação do sistema. Para estes testes os o sistema é inicializado em modo automático e todas as possíveis transições do sistema são testadas.

4.3.1 Estado automático inicial do sistema

O estado automático inicial possui 5 possíveis transições, sendo estas descritas na seção 3.3.3.1 deste trabalho. Os passos para o teste de verificação inicial do sistema são os seguintes:

Verificação da transição 1 (Modo automático inicial para modo bloqueado):

1. O sistema é iniciado e o modo automático inicial é configurado por padrão;
2. O reservatório de água sanitizante é esvaziado;
3. O sensor de líquido sanitizante é lido;
4. O estado do sistema é verificado (modo bloqueado deve estar ativo);

Verificação da transição 2 (Modo automático inicial para modo de remoção):

1. O sistema é iniciado e o modo automático inicial é configurado por padrão;
2. Água da chuva é inserida no sistema;
3. O sensor da chuva é lido (o retorno deve ser verdadeiro);
4. O estado do sistema é verificado (modo de remoção deve estar ativo);

Verificação da transição 3 (Modo automático inicial para modo inicial):

1. O sistema é iniciado e o modo automático inicial é configurado por padrão;
2. O sensor da chuva é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O intervalo da última chuva é inferior a 1 hora (3600 segundos);
4. O estado do sistema é verificado (modo inicial deve estar ativo);

Verificação da transição 4 (Modo automático inicial para modo de tratamento):

1. O sistema é iniciado e o modo automático inicial é configurado por padrão;
2. O sensor da chuva é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O intervalo da última chuva é superior a 1 hora (3600 segundos);
4. O estado de do sistema é verificado (modo de tratamento deve estar ativo);

Verificação da transição 5 (Modo automático inicial para modo manual):

1. O sistema é iniciado e o modo automático inicial é configurado por padrão;
2. O sensor da chuva é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. Modo manual é ativo pelo acionamento do botão S1.
4. O estado do sistema é verificado (modo de manual deve estar ativo);

4.3.2 Estado automático bloqueado do sistema

O estado automático bloqueado possui duas possíveis transições, sendo estas descritas na seção 3.3.3.1 do trabalho em questão. Os passos para o teste de verificação inicial do sistema são os seguintes:

Verificação da transição 6 (Modo bloqueado para modo bloqueado):

1. O sistema está no modo bloqueado (devido à falta de líquido sanitizante no reservatório);
2. O reservatório de água sanitizante deve ficar vazio;
3. O sensor de líquido sanitizante é lido (o retorno deve ser falso ou zero);

4. O estado do sistema é verificado (modo bloqueado deve estar ativo);

Verificação da transição 7 (Modo bloqueado para modo inicial):

1. O sistema está no modo bloqueado (devido à falta de líquido sanitizante no reservatório);
2. Líquido sanitizante é preenchido no reservatório;
3. O sensor de líquido sanitizante é lido (o retorno deve ser verdadeiro ou um);
4. O estado de do sistema é verificado (modo automático inicial deve estar ativo);

4.3.3 Estado automático de remoção do sistema

O estado automático de remoção possui 4 possíveis transições, sendo estas descritas na seção 3.3.3.1 do trabalho em questão. Os passos para o teste de verificação inicial do sistema são os seguintes:

Verificação da transição 8 (Modo de remoção para modo bloqueado):

1. O sistema está no modo de remoção de água imprópria;
2. O reservatório de água sanitizante deve ficar vazio;
3. O sensor de líquido sanitizante é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
4. O estado do sistema é verificado (modo bloqueado deve estar ativo);

Verificação da transição 9 (Modo de remoção para modo inicial):

1. O sistema está no modo de remoção de água imprópria;
2. O sensor de detecção da chuva é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O estado de do sistema é verificado (modo automático inicial deve estar ativo);

Verificação da transição 10 (Modo de remoção para modo de controle do tanque):

1. O sistema está no modo de remoção de água imprópria;
2. O sensor de detecção da chuva é lido (o retorno deve ser verdadeiro ou um);
3. O nível do tanque é lido (leitura indica nível superior a 95%);
4. O estado de do sistema é verificado (modo de controle inicial deve estar ativo);

Verificação da transição 11 (Modo de remoção para modo de coleta/coleção):

1. O sistema está no modo de remoção de água imprópria;

2. O sensor de detecção da chuva é lido (o retorno deve ser verdadeiro ou um);
3. O nível do tanque é lido (leitura indica nível inferior a 95%);
4. O estado de do sistema é verificado (modo de coleta/coleção inicial deve estar ativo);

4.3.4 Estado automático de coleta do sistema

O estado automático de coleta de água possui quatro possíveis transições, descritas na seção 3.3.3.1 do trabalho. Os passos para o teste de verificação inicial do sistema são os seguintes:

Verificação da transição 12 (Modo de coleta para modo bloqueado):

1. O sistema está no modo de coleta de água;
2. O sensor de líquido sanitizante é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O estado do sistema é verificado (modo bloqueado deve estar ativo);

Verificação da transição 13 (Modo de coleta para modo de controle):

1. O sistema está no modo de coleta de água;
2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser verdadeiro ou um);
3. O nível do tanque é lido (leitura indica nível superior a 95%);
4. O estado de do sistema é verificado (modo de controle deve estar ativo);

Verificação da transição 14 (Modo de coleta para modo de coleta):

1. O sistema está no modo de coleta de água;
2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser verdadeiro ou um);
3. O nível do tanque é lido (leitura indica nível inferior a 95%);
4. O estado de do sistema é verificado (modo de coleta deve estar ativo);

Verificação da transição 15 (Modo de coleta para modo de tratamento):

1. O sistema está no modo de coleta de água;
2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O estado de do sistema é verificado (modo de tratamento deve estar ativo);

4.3.5 Estado automático de controle do sistema

O estado automático de controle de água possui 4 possíveis transições, sendo estas descritas na seção 3.3.3.1 do trabalho em questão. Os passos para o teste de verificação inicial do sistema são os seguintes:

Verificação da transição 16 (Modo de controle para modo bloqueado):

1. O sistema está no modo de controle da água;
2. O sensor de líquido sanitizante é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O estado do sistema é verificado (modo bloqueado deve estar ativo);

Verificação da transição 17 (Modo de controle para modo de controle):

1. O sistema está no modo de controle da água;
2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser verdadeiro ou um);
3. O nível do tanque é lido (leitura indica nível superior a 95%);
4. O estado de do sistema é verificado (modo de controle deve estar ativo);

Verificação da transição 18 (Modo de controle para modo de coleta):

1. O sistema está no modo de controle da água;
2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser verdadeiro ou um);
3. O nível do tanque é lido (leitura indica nível inferior a 95%);
4. O estado de do sistema é verificado (modo de coleta deve estar ativo);

Verificação da transição 19 (Modo de controle para modo de tratamento):

1. O sistema está no modo de controle da água;
2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O estado de do sistema é verificado (modo de tratamento deve estar ativo);

4.3.6 Estado automático de tratamento do sistema

O estado automático de tratamento de água possui 4 possíveis transições, sendo estas descritas na seção 3.3.3.1 do trabalho em questão. Os passos para o teste de verificação inicial do sistema são os seguintes:

Verificação da transição 20 (Modo de tratamento para modo bloqueado):

1. O sistema está no modo de tratamento da água;
2. O sensor de líquido sanitizante é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O estado do sistema é verificado (modo bloqueado deve estar ativo);

Verificação da transição 21 (Modo de tratamento para modo inicial):

1. O sistema está no modo de tratamento da água;

2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
3. O estado de do sistema é verificado (modo de inicial deve estar ativo);
Verificação da transição 22 (Modo de tratamento para modo de controle):
 1. O sistema está no modo de tratamento da água;
 2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser verdadeiro ou um);
 3. O nível do tanque é lido (leitura indica nível inferior a 95%);
 4. O estado de do sistema é verificado (modo de controle deve estar ativo);
Verificação da transição 23 (Modo de tratamento para modo de coleta):
 1. O sistema está no modo de tratamento da água;
 2. O sensor de detecção de chuva é lido (o retorno deve ser falso ou zero);
 3. O estado de do sistema é verificado (modo de coleta deve estar ativo);

5 DISCUSSÕES

A partir das seções anteriores, nas quais o domínio do problema, a especificação, implantação e testes do trabalho foram descritos, um protótipo de validação de um produto de base comercial foi obtido. Este protótipo foi desenvolvido a partir de uma análise de mercado de produtos que atuam na coleta, tratamento e utilização da água da chuva para usos não potáveis de diversos nichos comerciais. Esta análise de mercado auxiliou o direcionamento das funcionalidades que são essenciais para um protótipo de um produto com características disruptivas.

O kit de desenvolvimento da companhia *Texas Instruments* aliado aos sensores, atuadores, componentes mecânicos e conjunto de periféricos do kit de extensão da mesma empresa possibilitou a elaboração de uma prova de conceito de um futuro produto comercial. Com a utilização de modelos de desenvolvimento de software e produto, diversos fluxos da manipulação da água da chuva foram automatizados de maneira eficaz. Após a execução dos testes de validação do sistema proposto é possível notar que os resultados e saídas estão de acordo com o projetado. Os modos de operação do sistema (automático e manual) realizaram as funções necessárias para o tratamento, coleta, filtragem e manutenção da água da chuva para diferentes fluxos do sistema.

6 CONCLUSÃO E PERSPECTIVA

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um protótipo para a coleta, armazenamento, controle e tratamento da água da chuva com a utilização de filtros e automação de processos. Apesar das barreiras no desenvolvimento do sistema e necessidade de adaptação dos processos, é possível dizer que os atributos funcionais e não funcionais do trabalho em questão foram verificados no protótipo de validação, sendo o resultado prático em conformidade com o esperado (ou projetado).

O *firmware* (*software* executado no microcontrolador) embarcado possibilitou a automação dos processos de coleta da água da chuva de maneira descrita nos requisitos e autônoma, sendo a adaptabilidade do funcionamento do sistema elevada para diferentes fluxos de operação.

De acordo com as condições, premissas e requisitos estabelecidos para este trabalho, o protótipo da eco cisterna demonstrou capacidade de funcionamento alinhada ao projeto, podendo ser replicado de maneira sustentável para modelos comerciais e industriais de utilização.

6.1 Trabalhos Futuros

Há pontos de melhora a serem realizados no sistema em questão. Uma delas seria a adoção de funcionalidades ligadas ao IoT (*Internet of Things*), desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis, *web browsers* e uso de princípios de ciência dos dados. Tais interfaces e tópicos relevantes para esta época possibilitariam o desenvolvimento de um produto de alto valor inovador considerando o público-alvo em questão.

É previsto o encaminhamento burocrático e legal para processo de registro e patente do produto.

REFERÊNCIAS

- ACQUASOLUTION. **Ciclo Hidrológico**. São José dos Campos, 2023. Disponível em: <https://acquablog.acquasolution.com/a-influencia-do-ciclo-hidrologico-na-qualidade-da-agua/ciclo-hidrologico/>. Acesso em: 20 maio. 2023.
- ARAÚJO, R. R.; DIAS, L. S.; BENINI, S.M. **Água: tratamento, efluentes e lodos**. São Paulo: ANAP, 2015. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/Comite%20Rio%20Chapeco/Irani/Publicacoes/LIVRO---Agua-tratamento-efluentes-e-lodos.pdf. Acesso em: 20 maio. 2023.
- ASSIS, P. D. K. B. **MICROCONTROLADOR**. Minas Gerais: UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - UNIPAC, 2004. Disponível em: <https://ri.unipac.br/repositorio/wp-content/uploads/2019/07/Pietro-Diovane-Keoma-Bergamaschi-de-Assis.pdf>. Acesso em: 20 maio.
- BAIÃO, F. J. **FUNCIONALIDADES E TECNOLOGIAS DA IMPRESSORA 3D**. Itatiba: Universidade São Francisco, 2012. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2347.pdf>. Acesso em: 20 maio.
- BERTOLO, E. J. P. **Aproveitamento da água da chuva em edificações**. Portugal, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60529/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 20 maio.
- BONI, S. S. N. **GESTÃO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES: FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES PARA O REÚSO DE ÁGUA PARA FINS NÃO POTÁVEIS**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2009. Disponível em: <https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/reuso-agua-fins-nao-potaveis.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2023
- CASA DA CISTERNA. **Cisternas subterrâneas**. Brasil: Santa Catarina, 2023. Disponível em: <https://www.casadacisterna.com.br/cisternas-subterraneas-p64>. Acesso em: 20 maio. 2023
- COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. **A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil**. Cachoeira Paulista: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Coelhoetal.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2023
- COELHO, J. P. **SENSORES E ATUADORES**. Portugal, Bragança: Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2005. Disponível em: http://www.ipb.pt/~jpcoelho/downloads/SeA_.pdf. Acesso em: 20 maio. 2023
- COLLA, L. L. **Sistemas de Captação e Aproveitamento de Água de Chuva**. Sorocaba: UNESP - Universidade Estadual Paulista, 2008. Disponível em: https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariadeControleeAutomacao/galdenoro1906/galdenorotg-lizzi-2008_.pdf. Acesso em: 20 maio. 2023
- COLOMBO. **LEI Nº 1.553/2020**. Dispõe sobre a implantação de cisternas em construções acima de 1.500 m² (uns mil e quinhentos metros quadrados). Paraná: Colombo, 2020. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/colombo/lei-ordinaria/2020/156/1553/lei-ordinaria-n-1553-2020-dispoe-sobre-a-implantacao-de->

cisternas-em-construcoes-acima-de-1500-m2-um-mil-e-quinhetos-metros-qua-drados. Acesso em: 20 maio. 2023.

CORDEIRO, L. C. **TXM: Uma Metodologia de Desenvolvimento de HW/SW Ágil para Sistemas Embarcados**. Manaus, Amazonas: Universidade Federal do Amazonas, 2007. Disponível em: https://ssvlab.github.io/lucasccordeiro/papers/msc_thesis_cordeiro.pdf. Acesso em: 20 maio. 2023.

CURITIBA. **LEI Nº 10785, DE 18 DE SETEMBRO DE 2003**. CRIA NO MUNICÍPIO DE CURITIBA, O PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO E USO RACIONAL DA ÁGUA NAS EDIFICAÇÕES - PURAE. Paraná: Curitiba, 2003. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/2003/1079/10785/lei-ordinaria-n-10785-2003-cria-no-municipio-de-curitiba-o-programa-de-conservacao-e-uso-racional-da-agua-nas-edificacoes-purae>. Acesso em: 20 maio. 2023.

DALPAZ, L.; BORGERT, A. E.; VENDRAMINI, J. M.; GHISI, E. G. **Tipos e eficiência de unidades de tratamento para água pluvial: revisão de literatura**. Santa Catarina: UFSC, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/BdnQkqjS4H8qqZ4JxmF5sgF/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 20 maio. 2023.

DINIZ, J. A. O.; PAULA, T. L. F.; GENARO, D. T.; KIRCHHEIN, R. E.; FILHO, V. F.; MOURÃO, M. A. A.; FRANZINI, A. S. **CRISE HÍDRICA NO BRASIL: O USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COMO REFORÇO NO ABASTECIMENTO PÚBLICO**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2021. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22291/3/rel_2021_estiagem_agua_%20subterranea%20%282%29.pdf. Acesso em: 20 maio. 2023.

ELEC FREAKS. **Ultrasonic Ranging Module HC - SR04**. Estados Unidos, 2023. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2023

FEDOZZI, F. A. **CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA: CONDOMÍNIO PLAZA DAS FLORES, EM CAMPINAS/SP**. São Paulo, Campinas: Universidade São Francisco, 2013. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2585.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2023

FERNANDES, A. L. T.; NOGUEIRA, M. A. S.; RABELO, P. V. **Escassez e qualidade da água no século 21**. Belo Horizonte: Informe Agropecuário, 2008. v. 29. n. 246. p.86 - 101. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/irrigacao/artigos/ESCASSEZ%20E%20QUALIDADE%20DA%20AGUA%20NO%20SEculo%2021.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2023

FORTLEV. **Separador de Folhas**. Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/produtos/meio-ambiente/separador-de-folhas/>. Acesso em: 20 maio. 2023

GANSSELE, J. **The art of designing embedded systems**. Oxford: Elsevier, 2008. 309p. 2ed.

HAGEMANN, S. L. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA E DA VIABILIDADE DE SUA CAPTÇÃO E USO**. Rio Grande do Sul: UFSM - Universidade

Federal de Santa Maria, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7715/HAGEMANN%2C%20SABRINA%20ELICKER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 maio. 2023

IVO, B. **Eletrônica de Potência**. Santa Catarina: UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

LONGO, L. **INTERNET DAS COISAS: USO DE SENSORES E ATUADORES NA AUTOMAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESIDENCIAL**. Pato Branco: UTFPR, 2015. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/14643/3/PB_COENC_2015_2_02.pdf. Acesso em: 20 maio. 2023

MAZZAROPPI, M. **INTERNET DAS COISAS: USO DE SENSORES E ATUADORES NA AUTOMAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESIDENCIAL**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2007. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7345/1/monopoli10001369.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2023

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011**. Brasil, 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 20 maio. 2023

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M.V. S.; SILVA, D. F. **CICLO HIDROLÓGICO PLANETÁRIO: abordagens e Conceitos**. Rio de Janeiro: UERJ, 2010. ISSN 1981-9021 - Geo UERJ - Ano 12, v.1, no .21. Disponível em: https://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2020/08/APOSTILA_DE_TRATAMENTO_DE_AGUA-.pdf. Acesso em: 20 maio. 2023

MULTIPEÇAS. **MINI BOMBA DE AGUA SUBMERSIVEL 12V DC30A-1230**. Curitiba, 2023. Disponível em: <https://multipecas.curitiba.br/produto/mini-bomba-de-agua-submersivel-12v-dc30a-1230/>. Acesso em: 20 maio. 2023

MULTIPEÇAS. **MICRO BOMBA DE AGUA 12V JSB 2438427**. Curitiba, 2023. Disponível em: <https://multipecas.curitiba.br/produto/micro-bomba-de-agua-12v-jsb-2438427/>. Acesso em: 20 maio. 2023

MULTIPEÇAS. **MODULO RELE 5V COM 4 CANAIS E BORNES KRE / OPTOACÓPLADOR PARA ARDUINO**. Curitiba, 2023. Disponível em: <https://multipecas.curitiba.br/produto/modulo-rele-5v-com-4-canal-e-bornes-kre-optoacoplador-para-arduino/>. Acesso em: 20 maio. 2023

NETO, C. O. A. **APROVEITAMENTO IMEDIATO DA ÁGUA DE CHUVA**. Rio Grande do Norte: UFRN, Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7106/4878>. Acesso em: 20 maio. 2023

PINHEIRO, L. G; ARAÚJO, A. L. C. **QUALIDADE E APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA**. Rio Grande do Norte: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2015. Disponível em:

<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/3431>. Acesso em: 20 maio. 2023

PORTJR. **Captação de água pluviais**. Minas Gerais: Juiz de Fora, 2023. Disponível em: <https://portejr.com.br/captacao-de-aguas-pluviais/>. Acesso em: 20 maio. 2023

POZZATTI, E. **PROJETO E ANÁLISE DE UMA FONTE CHAVEADA EM ALTA FREQUÊNCIA PARA LABORATÓRIO DE ENSINO COM SAÍDAS: $\pm 12V$, $\pm 5V$, ± 3.3 VARIÁVEL ATÉ 25 V**. Curitiba: UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. 76p. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6065/2/CM_COELE_2015_2_02.pdf. Acesso em: 20 maio. 2023

SIMON, A. A. **MELHORIA E AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ADMINISTRAÇÃO E GERENCIAMENTO DE OBRAS CIVIS UTILIZANDO A BPMN E GERENCIAMENTO ELETRÔNICO DE DOCUMENTOS**. Rio Grande do Sul: UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES, 2018. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/633f8e11-db3d-4d7c-8d43-cbff22670c72/content>. Acesso em: 20 maio. 2023

SOUZA, W. A. **Tratamento de Água**. Rio Grande do Norte: Editora CEFET-RN, 2007. 152p. Disponível em: <http://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/997>. Acesso em: 20 maio. 2023

STORMSAVER. **STORMSAVER Commercial Rainwater Harvesting Systems**. Estados Unidos: Newark, 2023. Disponível em: <https://www.stormsaver.com/rainwater-harvesting/systems/commercial>. Acesso em: 20 maio. 2023

TECNOTRI. **Tecnotri by Rototech Group**. Brasil: Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://cisternas.tecnotri.com.br/>. Acesso em: 20 maio. 2023

TECNOTRI. **Cisterna Vertical Modular 600 Litros para Reuso de Água**. Brasil: Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://cisternas.tecnotri.com.br/produto/cisterna-vertical-modular-600-litros-kit-reuso-de-agua/>. Acesso em: 20 maio. 2023

TEXAS INSTRUMENTS. **Tiva™ C Series TM4C1294 Connected LaunchPad Evaluation Kit**. Estados Unidos, 2014. Disponível em: https://www.ti.com/lit/ug/spmu365c/spmu365c.pdf?ts=1685312210503&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Ftool%252FEK-TM4C1294XL. Acesso em: 20 maio. 2023

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. Estados Unidos, 1999. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2023

TEXAS INSTRUMENTS. **BOOSTXL-EDUMKII Educational BoosterPack™ Plug-in Module Mark II**. Estados Unidos, 2015. Disponível em: https://www.ti.com/lit/ug/slau599b/slau599b.pdf?ts=1685663100102&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Ftool%252FBOOSTXL-EDUMKII. Acesso em: 20 maio. 2023

TOPINK3D. **IMPRESSORA 3D ANYCUBIC KOBRA MAX**. Piracicaba, 2023. Disponível em: <https://www.topink3d.com.br/imprensa-3d-anycubic-kobra-max>. Acesso em: 20 maio. 2023

USINAINFO. **Sensor de Nível de Líquidos Sem Contato - XKC-Y25-V**. Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-nivel-arduino/sensor-de-nivel-de-liquidos-sem-contato-xkc-y25-v-5334.html>. Acesso em: 20 maio. 2023

VILLARREAL, E. L. DIXON, A. **Rainwater collection system**. Inglaterra: Sheffield Hallam University, 2005. Disponível em: <https://eprints.chi.ac.uk/id/eprint/1108/>. Acesso em: 20 maio. 2023

WHITAKER, J. C. **The Electronics Handbook**. Nova Iorque: Taylor & Francis Group, 2005, 2539 p. 2a. ed.