

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

CAÍQUE MORATO LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA AUTOMÁTICO PARA
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA PARA USO NÃO-POTÁVEL**

Orientador: Cleto Cavalcante de Souza Leal, Me.

MANAUS
2019

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

CAÍQUE MORATO LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA AUTOMÁTICO PARA
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA PARA USO NÃO-POTÁVEL**

Projeto de Pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola Superior de Tecnologia da Universidade Estadual do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Cleto Cavalcante de Souza Leal, Me.

MANAUS
2019

CAÍQUE MORATO LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA AUTOMÁTICO PARA
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA PARA USO NÃO-POTÁVEL**

Projeto de Pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentado à banca avaliadora do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheira de Controle e Automação.

Orientador: Cleto Cavalcante de Souza Leal, Me.

Aprovado em 17 de Julho de 2019



.....
Cleto Cavalcante De Souza Leal



.....
Israel Mazaira Morales



.....
Daniel Guzman

Manaus
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus pelo dom da vida. Agradeço à Ele, também, a oportunidade de estar concluindo o curso de Engenharia de Controle e Automação na Universidade do Estado do Amazonas.

Agradeço também a meus pais, Carlos Alberto Mello Lima e Anny Keila Morato Lima, irmãos, Karla Morato Lima Guimarães e Cauã Morato Lima, à minha família em geral, e também aos meus amigos, dentre eles, o meu amigo de curso e estágio Rafael Gomes Chicre Oliveira, pelo suporte, apoio e ajuda ao longo dos anos de curso. Pelo suporte não só dentro, como também fora da universidade. Sem eles não seria possível chegar até aqui.

Agradeço também a meus professores, por todo o conhecimento passado dentro e fora de sala, durante as aulas, horas de monitoria, laboratórios, e até mesmo consultas e dúvidas tiradas fora de seu horário de trabalho, dentre eles, nosso eterno professor e amigo Me. Charles Melo.

Agradeço ao professor Me. Moisés Bastos, do Laboratório de Sistemas Microprocessados, pela paciência, colaboração e disposição em ajudar e ceder espaço e materiais para a realização dos estudos deste e de outros projetos. Também agradeço ao aluno Luís Mena, que, junto com o professor Me. Moisés Bastos, ajudaram com a impressão em 3D e com componentes eletrônicos deste projeto. A colaboração de ambos foi fundamental para a montagem do protótipo e para a conclusão deste estudo.

Agradeço também ao Prof. Me. José Luís Sicchar pelas orientações quanto à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador, Prof. Me. Cleto Cavalcante Leal, por me orientar e acompanhar, não só durante o curso, como também durante esta monografia, ajudando-me a conduzi-la de maneira correta em prol do resultado desejado.

RESUMO

Nos dias de hoje, os recursos da natureza humana estão ficando cada vez mais escassos. Por isso, a preocupação com a correta utilização desses recursos é cada vez mais presente no avanço da tecnologia.

Um desses recursos é a água. Hoje, 97% da água no planeta é água salgada, imprópria para o consumo humano. Dos 3% restantes, 71% está congelada. Se levarmos em conta toda a água disponível no planeta, apenas 0,18% é água doce e em forma líquida, própria para o consumo humano. Uma das fontes disponíveis dessa água, e que, normalmente não é aproveitada, é a água da chuva.

Apesar de ser uma fonte disponível e de fácil acesso a toda a população, não há investimento para que o consumidor final passe a utilizar essa água em seu dia-a-dia.

Este estudo visa a construção de um protótipo automático para simulação da captação da água da chuva para utilização em uma residência, utilizando equipamentos de baixo custo, como a interface Arduino, para fazer o controle do volume disponível dessa água para utilização em uma residência, a distribuição da mesma e informar ao usuário se ele estará utilizando água da chuva ou água da rede comum da residência durante o dia-a-dia.

Além disso, será projetado, com a ferramenta Matlab, um sistema supervisorio para observação do comportamento do sistema de controle de nível. Este sistema supervisorio informará ao usuário como está o comportamento dos sensores do sistema, para verificar se o mesmo está se comportando corretamente como deveria ou não, validando o seu funcionamento.

Por fim, será feita uma análise de viabilidade de custos, para que o usuário final possa saber se é viável, do ponto de vista financeiro, a instalação de um sistema de controle de nível como estes para captação da água da chuva.

Palavras-chave: água da chuva; controle de nível; sistema supervisorio.

ABSTRACT

Nowadays, the resources of human nature are getting more and more scarce. Therefore, the concern with the correct use of these resources is increasingly present in the advancement of technology.

One of these resources is the water. Today, 97% of the water on the planet is salt water, unfit for human consumption. Of the remaining 3%, 71% is frozen. If we take into account all the water available on the planet, only 0.18% is fresh water and in liquid form, suitable for human consumption. One of the available sources of this water, which is not normally used, is rainwater.

Despite being an available source and easy access to the entire population, there is no investment for the final consumer to use this water in their daily lives.

This study aims at the construction of an automatic prototype for the simulation of rainwater harvesting for residential use, using low cost equipment, such as the Arduino interface, to control the available volume of this water for use in a residence, distribution of the same and inform the user if he will be using rainwater or water from the common network of the residence during the day.

In addition, with the Matlab tool, a supervisory system will be designed to observe the behavior of the level control system. This supervisory system will inform the user of the behavior of the system sensors, to verify that the system is behaving correctly as it should or not, validating its operation.

Finally, a cost-feasibility analysis will be done, so that the end user can know if it is feasible from a financial point of view to install a level control system such as these to collect rainwater.

Keywords: Rainwater; level control; supervisory system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	9
Figura 2 - Esquema do Ciclo Hidrológico	10
Figura 3 – Placa Arduíno.....	12
Figura 4 - Controlador Lógico Programável.....	13
Figura 5 - Programação em Ladder	14
Figura 6 - Sensor Ultrassônico XX930A1A1M12.....	15
Figura 7 - Tecnologia da Impressão em 3D	16
Figura 8 - Residência Analisada.....	18
Figura 9 - Estrutura do projeto.....	19
Figura 10 - Protótipo montado.....	20
Figura 11 - Reservatório.....	21
Figura 12 - Tanque de Distribuição	22
Figura 13 - Diagrama do Sistema.....	23
Figura 14 - Arquitetura do Protótipo	24
Figura 15 - Processo Completo.....	24
Figura 16 - Arduíno Mega 2560.....	26
Figura 17 - Bomba 12v/90graus	27
Figura 18 - Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	27
Figura 19 - Sensor de Nível Hidráulico.....	28
Figura 20 - Display LCD 16x2	29
Figura 21 – Módulo Relé 5V 8 canais	31
Figura 22 - Local para descarte da primeira água.....	33
Figura 23 – Interface de Programação do Arduíno	34
Figura 24 - Parte da programação da Leitura do Tanque de Distribuição	35
Figura 25 - Comportamento teórico do Nível do Tanque de Distribuição	36
Figura 26 - Comportamento teórico do Sensor Inferior do Tanque de Distribuição ..	36
Figura 27 - Comportamento Teórico do Sensor Superior do Tanque de Distribuição	37
Figura 28 – Testes para leitura do Tanque	37
Figura 29 – Comportamento em tempo real da variável Nível	38
Figura 30 – Comportamento em tempo real do Sensor Inferior	38
Figura 31 – Comportamento em tempo real do Sensor Superior.....	39

Figura 32 – Parte da programação para acionamento da Bomba	40
Figura 33 – Programação para bombeamento de Água Sanitária	41
Figura 34 – Gráfico dos testes do acionamento da segunda bomba	41
Figura 35 – Programação para leitura do Reservatório.....	42
Figura 36 – Testes para verificar a distância do líquido ao sensor.....	42
Figura 37 – Resultados do Sensor Ultrassônico antes da calibração	43
Figura 38 – Resultados do Sensor Ultrassônico após a calibração	43
Figura 39 – Suporte para o sensor, impresso na impressora 3D	44
Figura 40 – Galão de 5 Litros utilizado como reservatório	45
Figura 41 – Reservatório de 2 litros utilizado como tanque de distribuição.....	46
Figura 42 – Testes para verificar a distância do líquido ao sensor.....	47
Figura 43 – Circuito montado na Protoboard	48
Figura 44 – Circuito montado nas placas	48
Figura 45 – Funcionamento do Sistema, visto pelo sistema supervisorío – Reservatório	49
Figura 46 – Funcionamento do Sistema, visto pelo sistema supervisorío – Tanque de Distribuição.....	50
Figura 47 – Local onde o tanque de distribuição deveria ficar armazenado	52
Figura 48 – Mudança no projeto de uma residência	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos do Protótipo	57
Tabela 2 – Custos para o projeto em uma residência já construída.....	56
Tabela 3 – Custos para o projeto em uma residência ainda não construída.....	56

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	4
1.1 TEMA	5
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	5
1.3 HIPÓTESE	5
1.4 OBJETIVO	5
1.4.1 OBJETIVO GERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5 JUSTIFICATIVA	6
1.6 METODOLOGIA	6
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	8
2.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA	8
2.2 O CICLO DA ÁGUA – ÁGUA DA CHUVA	8
2.3 FILTRAGEM E TRATAMENTO DA ÁGUA	10
2.4 SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL	11
2.4.1 ARDUÍNO.....	11
2.4.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL – CLP.....	12
2.4.3 SENSORES	14
2.4.4 ATUADORES.....	15
2.4.5 IMPRESSÃO 3D	15
3 TRABALHOS RELACIONADOS	17
3.1 PLANO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM DOMICÍLIO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PA: ESTUDO DE CASO	17
3.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE FLUXO DE ÁGUA EM RESIDÊNCIAS VIA TECNOLOGIA ZIGBEE	18
3.3 DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA BANCADA DE TESTE DE LABORATÓRIO, DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE NÍVEL, TEMPERATURA E VAZÃO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL SIMULADO	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO	21

4.2 ARQUITETURA DO PROTÓTIPO	23
4.3 COMPONENTES DO PROTÓTIPO	25
4.3.1 CIRCUITO ELETRÔNICO.....	25
4.3.2 ARDUÍNO.....	26
4.3.3 BOMBAS.....	26
4.3.4 SENSOR ULTRASSÔNICO.....	27
4.3.5 SENSOR DE BOIA.....	27
4.3.6 DISPLAY.....	28
4.4 PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO	29
4.5 MONTAGEM DO PROTÓTIPO	30
4.5.1 ACIONAMENTO DA BOMBA.....	30
4.6 MANGUEIRAS	31
4.7 SISTEMA SUPERVISÓRIO	31
4.8 DIMENSIONAMENTO PARA REDES RESIDENCIAIS	32
4.8.1 REDE RESIDENCIAL A SER ANALISADA.....	32
5 RESULTADOS OBTIDOS	34
5.1 PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO E TESTES	34
5.1.1 LEITURA DO TANQUE DE DISTRIBUIÇÃO.....	34
5.1.2 ACIONAMENTO DA BOMBA.....	39
5.1.3 ACIONAMENTO DA BOMBA PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA SANITÁRIA.....	40
5.1.4 LEITURA DO RESERVATÓRIO.....	41
5.2 MONTAGEM DO PROTÓTIPO	44
5.2.1 IMPRESSÃO DE COMPONENTES NA IMPRESSORA 3D.....	44
5.2.2 RESERVATÓRIO.....	45
5.2.3 TANQUE DE DISTRIBUIÇÃO.....	46
5.2.4 MONTAGEM DO CIRCUITO.....	47
5.3 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO	48
5.4 REDIMENSIONAMENTO PARA REDES RESIDENCIAIS	51
5.4.1 REDES RESIDENCIAIS JÁ CONSTRUÍDAS.....	52
5.4.2 REDES RESIDENCIAIS A SEREM CONSTRUÍDAS.....	53
5.5 VALORES DO PROJETO	55
5.5.1 PROTÓTIPO.....	55
5.5.2 PROJETO PARA UMA RESIDÊNCIA JÁ CONSTRUÍDA.....	56

5.5.3 PROJETO PARA UMA RESIDÊNCIA A SER CONSTRUÍDA.....	57
6 CONCLUSÃO	58
6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	59
6.2 TRABALHOS FUTUROS.....	59
7 CRONOGRAMA	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO	65

INTRODUÇÃO

A cada ano que passa, o mundo está cada vez mais preocupado com a utilização de recursos naturais, que estão se tornando cada vez mais escassos. A limitação da disponibilidade de água potável, aliada ao crescimento populacional, faz com que a utilização deste recurso deva ser mais eficiente. Apesar de a maior bacia hidrográfica do mundo encontrar-se no Brasil, mais especificamente no Amazonas, ainda assim o país sofre com crises de abastecimento de água para utilização residencial, sintomas da escassez de água potável para consumo.

Em São Paulo, entre os períodos de janeiro de 2014 a março de 2016, houve crise no abastecimento de água, onde o governo do Estado teve que intervir com o racionamento da mesma para a população do estado.

Neste cenário, a forma como utiliza-se a água potável, que é disponibilizada nas residências, é de suma importância quando analisada a situação nacional. Quando há a possibilidade de utilização de outras fontes de água para atividades que não exigem água potável, isso se torna uma solução necessária para economizar este recurso essencial para a vida humana.

Uma outra fonte de água disponível para uso que é quase que em sua totalidade ignorada pela população brasileira é a água da chuva. Apesar de ser uma fonte disponível e de fácil acesso a toda a população, não há investimento para que o consumidor final passe a utilizar essa fonte de água como alternativa para problemas de abastecimento de água.

Portanto, o presente estudo visa o desenvolvimento de um protótipo de simulação de um sistema automático de captação de água da chuva para utilização em atividades domésticas que dispensam água potável para sua realização.

1.1 TEMA

Desenvolvimento de um protótipo de sistema automático para aproveitamento de água da chuva para uso não-potável.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Pouco aproveitamento de água da chuva no país, causando o mal-uso de água potável em atividades onde não hajam necessidade da mesma. Resultando na falta de água em residências ou racionamento de água em algumas cidades do Brasil.

1.3 HIPÓTESE

É possível desenvolver um protótipo de sistema automático, com equipamentos de baixo custo, para simulação da utilização da água da chuva como fonte de água não potável em residências, para atividades diárias onde dispensam necessidade de água potável, informando ao usuário quando o mesmo está consumindo água reaproveitada da chuva ou água disponibilizada na rede comum, reduzindo assim o desperdício da mesma, ajudando na preservação ambiental e aumentando a disponibilidade de água em locais que convivem com falta de água.

1.4 OBJETIVO

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Projetar e desenvolver um protótipo de sistema automático utilizando equipamentos de baixo custo que simule a captação de água da chuva, fazendo a filtragem de resíduos indesejados e distribuindo a água para utilização residencial em atividades que dispensam a utilização de água potável, reduzindo o consumo da mesma e indicando assim ao usuário quando está utilizando água da rede ou água reaproveitada da chuva.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estudar os métodos de tratamento da água da chuva para filtragem e desinfecção da água;
- b) Estudar os diferentes métodos de controle de nível e controle de distribuição para determinação do método mais adequado para a aplicação desejada;
- c) Simular a captação e armazenamento da água da chuva em menor escala;
- d) Simular a distribuição da água da chuva para a residência;
- e) Desenvolvimento do protótipo do sistema automático, informando ao usuário quando está utilizando água da chuva ou água da rede comum;
- f) Teste de funcionamento do protótipo para comprovação da tese.

1.5 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de um sistema automático de aproveitamento de água da chuva complementar os estudos das disciplinas do curso de Engenharia de Controle e Automação, tais como: Controle e Automação I, II e III; Linguagem de Programação I e II; Eletrônica Analógica; Eletrônica Digital; Interface entre Usuários e Máquinas; Física II e III; Mecânica I.

Devido ao desperdício de água potável em atividades onde não exigem sua necessidade, esse estudo faz-se necessário como forma de redução de tal desperdício, uma vez que a água da chuva é uma fonte de água com pouca utilização residencial, tornando-se uma alternativa para o problema da falta de água em regiões do Brasil que sofrem com problemas de distribuição de água.

1.6 METODOLOGIA

O presente trabalho será uma pesquisa aplicada, cujo objetivo é a realização de uma pesquisa exploratória e explicativa sobre o material bibliográfico e de laboratório adquiridos sobre o assunto. Os procedimentos técnicos a serem utilizados serão os de pesquisa bibliográfica e experimental. Como método de abordagem, será utilizado o hipotético-dedutivo e a elaboração seguirá o método de procedimento monográfico. A coleta de dados será feita através da documentação indireta, com auxílio de documentos primários e secundários, e análise de interpretação qualitativa.

Inicialmente, serão realizadas pesquisas bibliográficas na área de tratamento de água, armazenamento de água, sistemas microprocessados, distribuição hidráulica, controle de nível e interface humano-máquina.

A construção do protótipo será feita em cinco principais etapas.

A primeira será o estudo e análise de componentes de baixo custo, bem como dos materiais bibliográficos referentes aos mesmos, para definição dos componentes a serem utilizados no protótipo.

A segunda parte será o desenvolvimento de sistema de filtragem e tratamento da água. Este sistema será construído com placas de acrílico, e seguirá as recomendações para a cisterna de filtragem segundo Zaenella (2015). O sistema é responsável por retirar impurezas maiores dos tanques. A partir disso será feita a construção dos outros dois tanques, um para água filtrada e outro para água da rede comum, ambos também construídos com placas de acrílico. A motobomba será ligada ao tanque de filtragem para ligação com outros tanques e os sensores ultrassônicos e de vazão serão ligados ao sistema.

A terceira parte será o desenvolvimento do sistema de distribuição da água. Este sistema será responsável por distribuir a água encontrada no reservatório para os terminais de utilização desejados. Para isso, será utilizado um microcontrolador de baixo custo. Uma vez que não serão todos os pontos de uma residência que utilizarão a água da chuva, como chuveiros e torneiras que necessitam de água potável, este sistema de distribuição não pode ser o mesmo do sistema hidráulico já existente em uma residência, então, para simulação, serão utilizados dois tanques, onde um representará água filtrada da chuva e, outro, água da rede comum, ambos chegando a um mesmo terminal.

A quarta etapa será a construção do sistema de monitoramento e de controle de todo o protótipo. Este sistema monitorará os níveis de água da chuva encontrados no reservatório e controlará sua utilização. O usuário final deve saber quando está utilizando água da chuva ou água potável da rede para suas atividades. Para isso, será utilizado um display conectado ao microcontrolador para exibir informações sobre o sistema.

Por fim, com o sistema pronto, serão realizados testes que comprovem seu funcionamento. Uma vez que o sistema estiver funcionando corretamente, será feito um dimensionamento teórico de um sistema em maior escala para uma rede em escala real.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA

Nos dias atuais, já existem países ao redor do mundo que convivem diariamente com a falta de água. Em alguns países desenvolvidos da Europa, como Holanda e Alemanha, e em países como Estados Unidos e Japão, o aproveitamento de água da chuva é massivamente intensificado como forma de redução da utilização da água potável, porém no Brasil ainda é uma prática pouco utilizada, mesmo na região norte, onde há maior intensidade de precipitação no território nacional.

Apesar de possuir a maior bacia hidrográfica de água doce do mundo, o Brasil já convive com problemas de distribuição de água, causando racionamento em grandes cidades como São Paulo, onde o aproveitamento de outras fontes de água disponíveis é uma solução viável para o problema.

Vesentini (2012) diz que 97,2% de toda a água disponível no planeta é composta por água salgada, restando apenas 2,8% de água doce para consumo humano. Ainda desses 2,8%, Vesentini (2012) diz que 71% está congelado nas calotas polares e geleiras, 18% estão em depósitos subterrâneos e 4% está dividido entre umidade do ar, solo e cobertura de pântanos, restando apenas 7% do total de água doce nos rios e lagos. Se levar isso em comparação a toda a água disponível no planeta, apenas 0,19% de toda a água disponível apresenta-se em forma de água doce disponível nos rios e lagos.

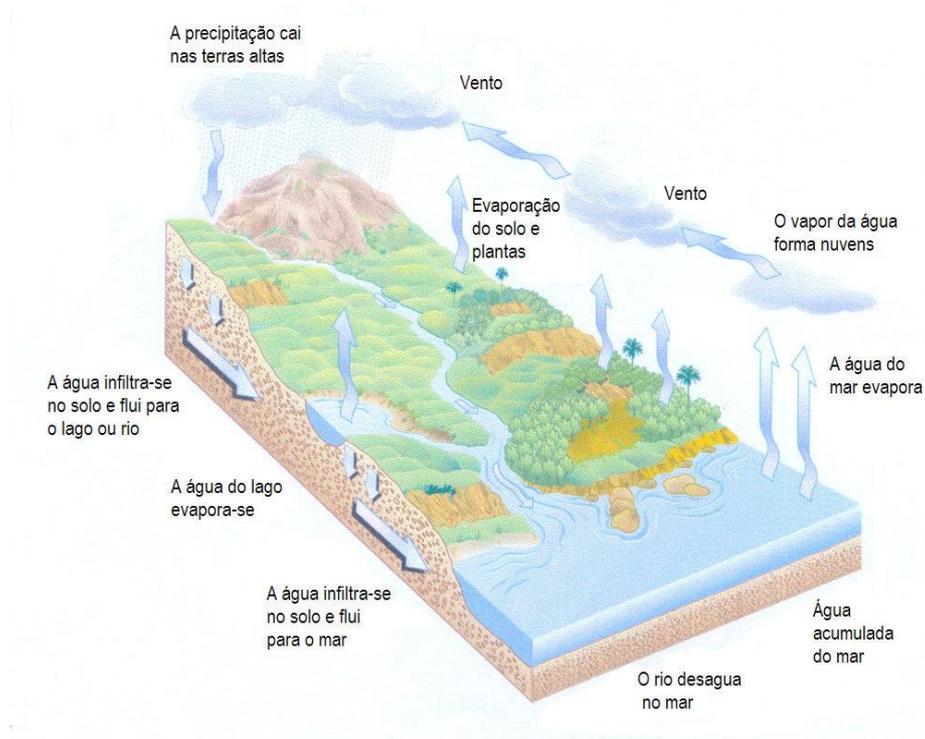
Segundo o Ministério do Meio Ambiente (s.d.), a água deve apresentar algumas características para que seja considerada potável e adequada ao consumo humano. Dentre as características estão as características microbiológicas, físicas, químicas e radioativas.

Antes de chegar nas residências, o Ministério do Meio Ambiente (s.d.) informa que a água ainda passa por uma estação de tratamento, onde há processos de adição de coagulantes, sedimentação, filtração, desinfecção e fluoretação. Portanto, a água que antes era somente potável, passa a ser potável e tratada. Ao fim, a água passa por análises laboratoriais para garantir a qualidade da mesma.

2.2 O CICLO DA ÁGUA – ÁGUA DA CHUVA

Vesentini (2012) diz, devido a força de atração gravitacional entre a terra e o sol, a água está em movimento constante. Com o calor fornecido pelo sol, a água evapora quando o calor é intenso e congela ou condensa-se quando a temperatura cai. O ciclo da água é um ciclo físico quase estável e auto-regulável. A água migra entre umidade atmosférica, oceanos, rios, lagos, lençóis freáticos, aquíferos subterrâneos, calotas polares e solos saturados em ciclos complexos (VILLIERS, 2002 apud MAY, 2004)

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: May (2004, p.12)

Na figura 1 é possível observar o ciclo da água de maneira geral. Neste sistema há o papel fundamental do sol. Com a radiação solar a água dos lagos, oceanos, águas que cobrem o solo e as plantas são evaporadas, fazendo com que haja a formação de nuvens, e pelos ventos, chegam em forma de chuva ou neve nas terras mais altas, onde geralmente encontram-se as cidades.

May (2004, p. 11) diz que o sistema "[...] funciona porque mais água evapora dos oceanos do que retorna a ele. Esta diferença cai na terra sob a forma de chuva [...] tornando nossa vida possível, pois quando ela cai, o faz em forma de água doce". Isto quer dizer que a água da chuva é uma fonte de água doce, tornando-a possível para ser utilizada de diversas formas.

Figura 2 - Esquema do Ciclo Hidrológico



Fonte: Autor (2019)

2.3 FILTRAGEM E TRATAMENTO DA ÁGUA

Apesar de ter a aparência limpa, a água da chuva não passa pelo tratamento e cuidados que a água que chega nas residências passa. Portanto, ela não é recomendada para beber ou cozinhar, mas sim, para usos não potáveis (ZAENELLA, 2015).

Para isso, a água deve passar por um processo de filtragem após a coleta, devido a mesma possuir sujeitas como folhas, insetos e outras partículas maiores que são indesejadas na utilização.

Após a filtragem, Zaenella (2015) recomenda que a primeira água colhida da chuva seja descartada. Isso ocorre devido a água da chuva trazer consigo partículas menores que passam pela filtragem inicial. Quanto mais tempo sem chuva, mais sujo será o primeiro volume d'água, por trazer consigo a sujeira acumulada durante todo o tempo sem chuva. Este volume de descarte varia de acordo com o tamanho da área onde será feita a coleta da água.

Por fim, Zaenella (2015) recomenda a higienização do reservatório onde a água ficará armazenada. Zaenella (2015, p. 19) diz que "A água sanitária pode melhorar a qualidade biológica da água armazenada. Recomenda-se o uso de 10 mL (uma colher de sobremesa) de água sanitária para 100 L d'água".

2.4 SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL

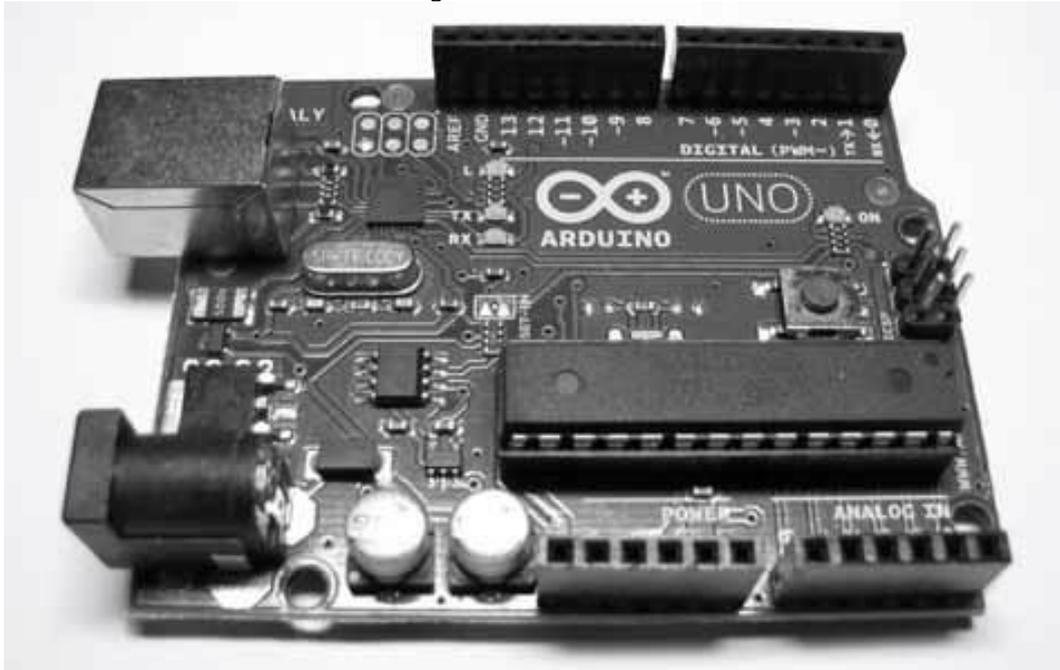
Para melhor funcionamento e integração do sistema com o usuário, faz-se necessário a criação de um sistema de controle de nível. Com este sistema, será possível o usuário saber o nível de água colhida da chuva que ainda tem em seu tanque, e, com isso, saber quando estará utilizando água reaproveitada da chuva ou água tratada fornecida na residência.

2.4.1 ARDUÍNO

McRobets (2015) define o Arduíno como sendo um computador pequeno que pode ser utilizado para programar e processar componentes externos ligadas às suas entradas e saídas. Ainda segundo McRoberts (2015), para programa-lo, deve-se utilizar o IDE do Arduíno, um software para programação do mesmo, utilizando a linguagem própria, que é baseada na linguagem C.

Por ter a linguagem baseada em C, um software de código aberto para programação e um custo relativamente baixo, o Arduíno acabou se tornando um dos microcontroladores mais utilizados do mundo. Assim como McRoberts (2015) recomenda em seu livro, basta uma pesquisa rápida na internet para ver a quantidade de materiais e informações disponíveis online para a programação do mesmo, com milhares de projetos e objetivos diferentes disponíveis para estudo.

Figura 3 – Placa Arduino



Fonte: McRoberts (2015, p.23)

2.4.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL – CLP

Quando se fala em sistemas automáticos, logo se pensa em Controladores Lógicos Programáveis ou CLPs. São ferramentas úteis e versáteis utilizadas em grande escala nacional. Como define a Universidade Federal do Rio de Janeiro (s.d., p.1) os CLPs “Permitem desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, podemos associar diversos sinais de entrada para controlar diversos atuadores ligados nos pontos de saída.”. Isso quer dizer que com um CLP pode-se acionar atuadores em função do sinal oriundo de sensores do sistema.

A UERJ (s.d.) mostra as vantagens na utilização de CLPs em um sistema, tais como: Menor espaço; Menor consumo de energia elétrica; Reutilizáveis; Programáveis; Maior confiabilidade; Maior flexibilidade; Maior rapidez na elaboração dos projetos; Interface de comunicação com outros CLPs e computadores.

Inicialmente, na década de 1960, os CLPs foram desenvolvidos a partir da necessidade de controle de processos em ambientes hostis. A partir disso, mostrou-se ser mais confiável e de menor custo que os circuitos de relé existentes na época, isso porque as ligações físicas que eram feitas com vários relés, passaram a ser feitas em uma simples programação. Ficou muito mais fácil (e barato) alterar a fiação de um

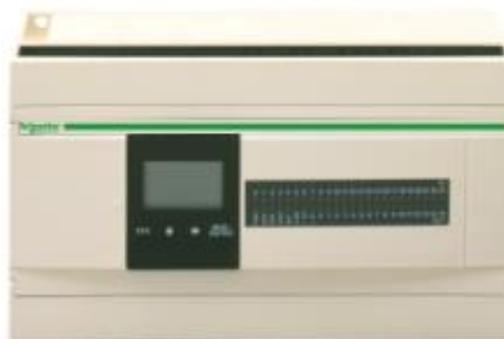
circuito de relé, bastando apenas alterar a programação do CLP (CASTRUCCI; BITTAR; SALES, 2011).

Os CLPs podem ser divididos em três partes: entradas, processamento e saídas. Como dito anteriormente, CLPs podem acionar atuadores que estão ligados em suas saídas através dos sinais oriundos de suas entradas, isso se faz através da lógica que está programada em seu processamento.

Os sinais aplicados na entrada, que virão de sensores, são lidos a cada varredura feita pelo sistema, e a partir daí os comandos programados para os atuadores são acionados. A varredura que se realiza no CLP para leitura das entradas e acionamento das saídas é chamada de ciclo.

No laboratório de Controle e Automação III da Escola Superior de Tecnologia, o CLP disponível para uso é o Controlador modelo TWDLCAE40RDF, da marca *Shneider Eletric*. Este controlador possui 24 entradas e 16 saídas, sendo o suficiente para as aplicações do projeto desejado neste estudo (SCHNEIDER ELECTRIC, s.d.)

Figura 4 - Controlador Lógico Programável

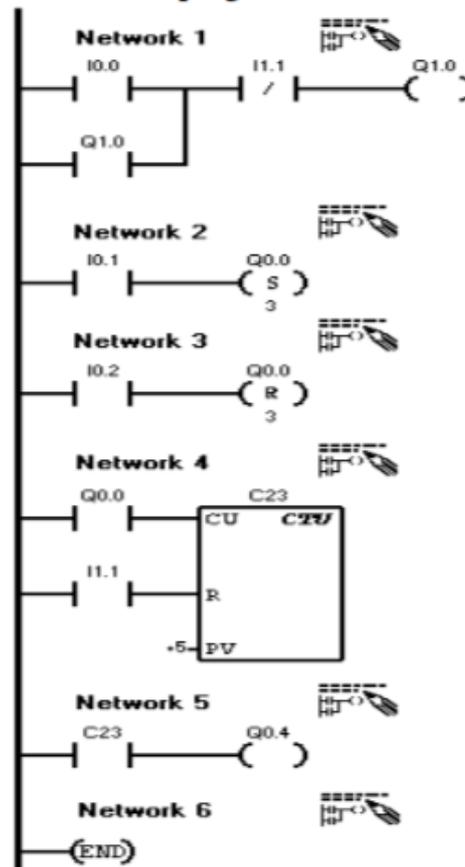


Fonte: Shneider Electric (s.d., p.1)

Para programação do CLP, o mesmo deve ser ligado a um terminal de programação, geralmente um computador pessoal, com um software para programação do mesmo. O software a ser utilizado será o software *Twido Suite*. Este ambiente gráfico permite a programação do CLP em três tipos de linguagens diferentes, as quais são: Lista de Instruções, Linguagem *Ladder* e Grafcet.

A linguagem a ser trabalhada será a Linguagem *Ladder*. A linguagem *ladder* é uma linguagem onde os comandos são representados em linhas, com chaves e comandos desenhados na mesma. Essa linguagem, segundo Groover (2011), é uma técnica de diagramação representada com os tempos e lógicas de formas sequencial, sendo análogo aos circuitos elétricos.

Figura 5 - Programação em Ladder



Fonte: UERJ (s.d., p. 26)

2.4.3 SENSORES

Sensores, como dito no nome, são os componentes eletrônicos que fazem medição de alguma grandeza no meio em que estão inseridos.

Existem diversos tipos de sensores usados em equipamentos eletrônicos. Podemos usar simples chaves ou dispositivos de acionamento momentâneo do tipo mecânico, até transdutores especiais que convertem alguma grandeza física numa grandeza elétrica como, por exemplo, uma tensão. (INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, s.d.)

Para o presente estudo, será utilizado um sensor de nível líquido. O sensor será responsável pelo monitoramento do nível líquido encontrado no reservatório, e a partir deste sinal, o sistema alertará ao usuário quando está utilizando água reaproveitada da chuva ou água da rede hidráulica da casa.

Figura 6 - Sensor Ultrassônico XX930A1A1M12



Fonte: Schneider Electric (s.d., p.1)

2.4.4 ATUADORES

Atuadores são dispositivos que convertem energia algum tipo de energia aplicada em sua entrada em movimento (MECÂNICA INDUSTRIAL, s.d.). Neste estudo, o atuador a ser utilizado será uma bomba hidráulica.

Bombas hidráulicas são responsáveis por deslocar um fluido de um local para outro, transformando sua energia de entrada em energia hidráulica.

Para trabalhar, os sistemas hidráulicos fazem uso de fluido comprimido para realizar um trabalho. O mais comum é que esse líquido seja um óleo bastante fino, de um grau especial, que é bombeado para dentro do sistema com o objetivo de produzir pressão por vários tipos de bombas hidráulicas. Estas bombas têm, geralmente, os mecanismos rotativos com tolerâncias pequenas entre as partes móveis e os compartimentos. Em comparação com outros tipos de bombas, a maioria dos tipos de bombas hidráulicas também apresenta baixas velocidades de rotação (INDÚSTRIA HOJE, 2013, p.2).

As bombas hidráulicas possuem diversas aplicações. Dentre elas destacam-se a utilização para irrigações, abastecimento de água e outros fluidos, sistemas de condicionamento de ar, refrigeração e deslocamento de produtos químicos (INDÚSTRIA HOJE, 2013).

Por todas estas aplicações, as bombas são amplamente utilizadas em indústrias hoje em dia, fazendo parte como componente de um sistema muito maior. O site Indústria Hoje (2013, p.1) diz "Esse dispositivo é também chamado de Máquina Hidráulica Operatriz, [...] máquinas que recebem energia potencial e transformam parte desta potência em energia cinética (movimento) e energia de pressão (força) “.

2.4.5 IMPRESSÃO 3D

Para o desenvolvimento do protótipo, por se tratar da construção de um único modelo, faz-se necessário o uso da tecnologia de impressão 3D.

Segundo Volpato (2017), a impressão 3D nasceu no ano de 1980, como um novo processo de fabricação baseado na adição de material. Ainda segundo ele, ela pode ser definida como um processo de adição sucessiva de material em forma de camadas, que podem ser obtidas diretamente através de um software de fabricação em 3D.

Esse processo tem início na projeção em 3D do material em software. Após o design do material, ainda por software, a peça é fatiada, de maneira que possa formar camadas. A criação "física" do material é formada pela montagem dessas camadas uma sobre a outra. Por isso, a tecnologia é conhecida por ter um enorme potencial de fabricar peças geometricamente complexas, uma vez que o software consegue transformar a geometria em 3D em camadas em 2D (VOLPATO, 2015).

Figura 7 - Tecnologia da Impressão em 3D



Fonte: VOLPATO (2017, p. 17)

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo serão apresentados trabalhos científicos relacionados ao tema abordado nesta monografia, resumindo o objetivo de cada um deles e suas diferenças com relação ao trabalho proposto.

3.1 PLANO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM DOMICÍLIO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PA: ESTUDO DE CASO

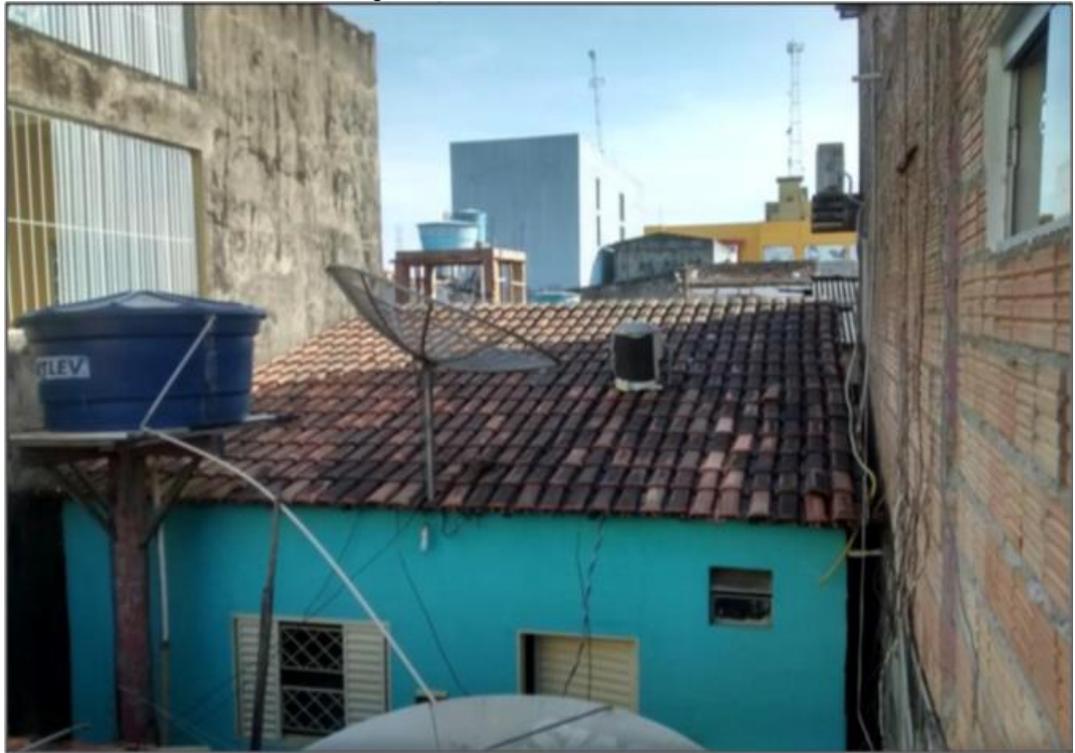
Na dissertação de Arrais, Monteiro e Sardinha (2015), os autores fazem um estudo de caso em uma residência no município de Marabá, no interior do estado do Pará, para aproveitamento de água da chuva para fins menos nobres, como os autores descrevem.

O estudo visa o dimensionamento de um reservatório adequado para a residência, avaliar a quantidade de água pluvial armazenada, e descentralizar a utilização de água potável para fins menos nobres.

Os autores, ao final do estudo, mostram como deve ser o cálculo para dimensionamento de reservatório para uma residência. Além disso, o estudo apresenta diversas fontes de informações a respeito do assunto, e de como deve ser tratada e preparada a água da chuva para utilização.

Os autores tratam da mesma problemática que o presente estudo, porém, não trabalham ou não propõem um modelo de controle e distribuição da água a ser utilizado. A discussão baseia-se apenas no dimensionamento do reservatório, bem como na viabilidade ou não da implementação do projeto. A sugestão proposta pelos mesmos é que o usuário faça o transporte do reservatório manualmente para onde desejam utilizar a água, e isso torna inviável ou dificultosa a utilização desta água.

Figura 8 - Residência Analisada



Fonte: ARRAIS, MONTEIRO E SARDINHA (2015, p. 18)

3.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE FLUXO DE ÁGUA EM RESIDÊNCIAS VIA TECNOLOGIA ZIGBEE

Na dissertação de Caldas Filho (2017), o autor alerta sobre a escassez de água no planeta e sobre o mau uso da água em residências. Como solução do problema, o autor sugere a criação de um sistema de monitoramento em tempo real do fluxo de água na residência.

Para a criação deste sistema, o autor utiliza a tecnologia Zigbee. Esta tecnologia é utilizada para fazer transferência de dados sem fio. Os dados são adquiridos através de sensores de fluxo e válvulas on/off, para controle de consumo e medição da vazão.

Além disso, o autor também propõe a criação de um sistema supervisor, realizado no Labview. Este sistema criado recebe as informações dos sensores através da transmissão de dados do Zigbee, e com isso realiza as tarefas para informação do consumo de água em tempo real.

Apesar de o autor tratar da mesma problemática tratada neste trabalho, o mesmo sugere uma abordagem diferente como solução do problema. Este trabalho contribuiu com valor para a fundamentação da problemática aqui trada, e também como fonte de dados para argumentação do problema em si.

Figura 9 - Estrutura do projeto



Fonte: CALDAS FILHO (2017, p. 31)

3.3 DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA BANCADA DE TESTE DE LABORATÓRIO, DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE NÍVEL, TEMPERATURA E VAZÃO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL SIMULADO

Na dissertação de Silva (2018) a autora projeta o desenvolvimento e construção de um sistema supervisório para uma bancada de teste de laboratório. Esta bancada de teste encontra-se na Escola Superior de Tecnologia – EST/UEA e não dispõe de tal sistema.

Para o desenvolvimento do sistema, Silva (2018) utilizou o software ScadaBr e o kit de prototipagem Arduino. O Arduino, neste projeto, funciona como *slave* do sistema e obedece aos comandos enviados pelo sistema SCADA.

Apesar da temática diferente das teses, em seu protótipo, Silva (2018) componentes similares aos componentes abordados nesta dissertação. Além da similaridade dos componentes, as ações realizadas pelos atuadores também são semelhantes. Por este motivo, essa dissertação teve grande contribuição na escolha dos componentes, além da forma de utilização dos mesmos.

Figura 10 - Protótipo montado



Fonte: SILVA (2018, p. 57)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o protótipo, serão utilizados materiais de baixo custo e de fácil acessibilidade. O protótipo deverá simular a captação de água da chuva em uma residência ou empresa. Após fazer a captação dessa água, o sistema deve fazer a adição de água sanitária no reservatório (ZAENELLA, 2015).

Uma vez que a água no reservatório esteja tratada, esta água pode ser levada para fins não potáveis. Ela poderá ser utilizada para regar jardins, lavagem de carros, limpeza de pisos, além das descargas em bacias sanitárias (ZAENELLA,2015).

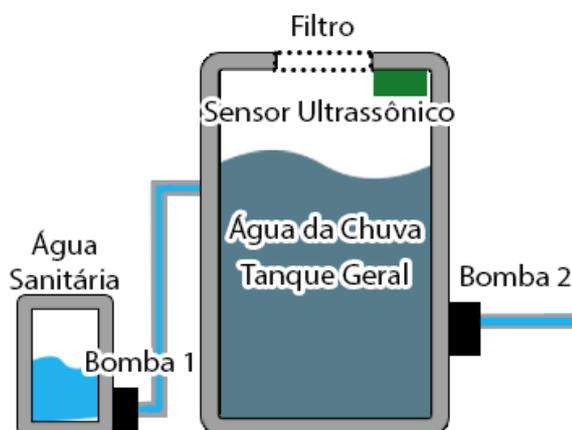
Para isso, será utilizado um reservatório final, simulando a saída de água do reservatório inicial para o ponto final, onde a água seria utilizada.

Por fim, o usuário deve ser informado quando estará ou não utilizando água da chuva ou água da rede comum.

4.1 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

O protótipo funcionará da seguinte forma: a água, que será simulada como água captada pela chuva, será jogada ao reservatório. A partir disso, essa água receberá a água sanitária, que é recomendada para armazenamento. No protótipo, por se tratar de uma simulação do que seria real, e em menor escala, não será utilizada água sanitária, somente água normal. O que será feito é o procedimento de bombeamento dessa água para o reservatório.

Figura 11 - Reservatório



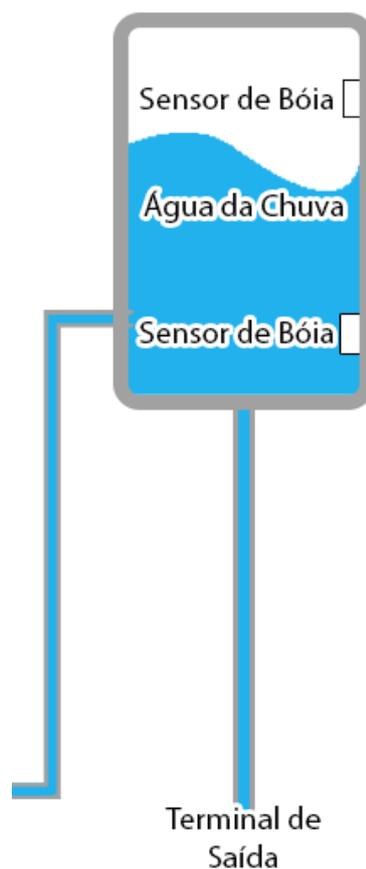
Fonte: Autor (2019)

O sensor ultrassônico que está no reservatório, servirá para medir a quantidade exata de água disponível neste tanque. Essa quantidade será mostrada

ao usuário para informa-lo quando está utilizando água da chuva ou água da rede comum.

Após este processo, a água do reservatório deverá ser bombeada para um tanque de distribuição que ficará a um nível acima da residência. Os dois tanques são necessários para que a água seja distribuída pela residência utilizando somente a força da gravidade, diminuindo os gastos com energia elétrica, enquanto o armazenamento da água deve ficar a um nível abaixo do telhado para que seja feita a colheita da água da chuva pela tubulação das calhas.

Figura 12 - Tanque de Distribuição



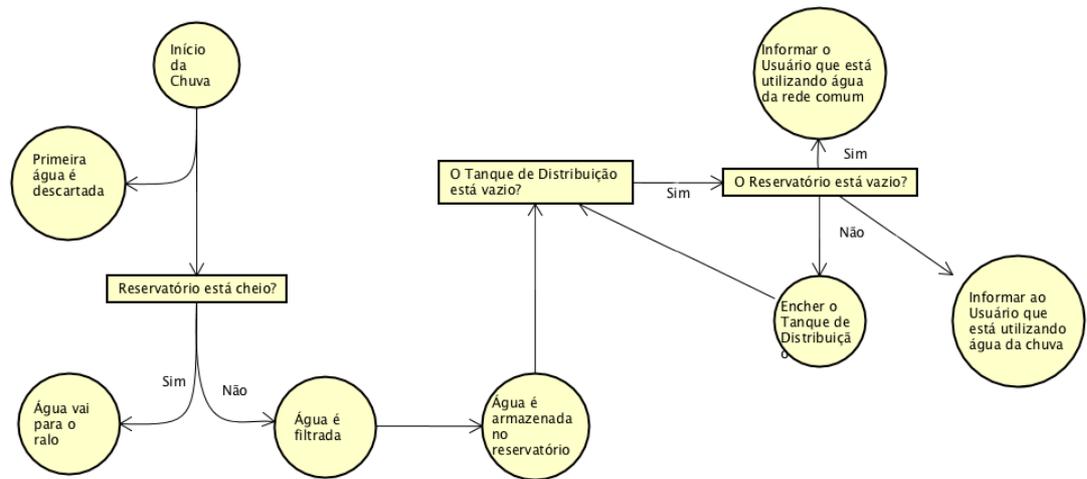
Fonte: Autor (2019)

No tanque de distribuição encontram-se dois sensores de boia, que serão responsáveis pelo acionamento e desligamento da bomba hidráulica. Quando os dois sensores estão ativados, significa que o tanque está cheio e a bomba pode ser desligada. Quando os dois sensores estão desativados, significa que o tanque está vazio, e a bomba precisa ser ativada para levar a água do reservatório a este tanque.

O protótipo não fará a simulação do descarte da primeira água da chuva nem da filtragem da água, pois estes se tratam de um sistema totalmente mecânico já disponível nos manuais ou de um componente que é facilmente encontrado no mercado e já têm funcionalidade comprovada, porém ambos serão levados em consideração com seus valores para a conclusão final.

Na figura 13 pode-se observar o funcionamento do protótipo através de uma modelagem desenvolvida no software Astah.

Figura 13 - Diagrama do Sistema



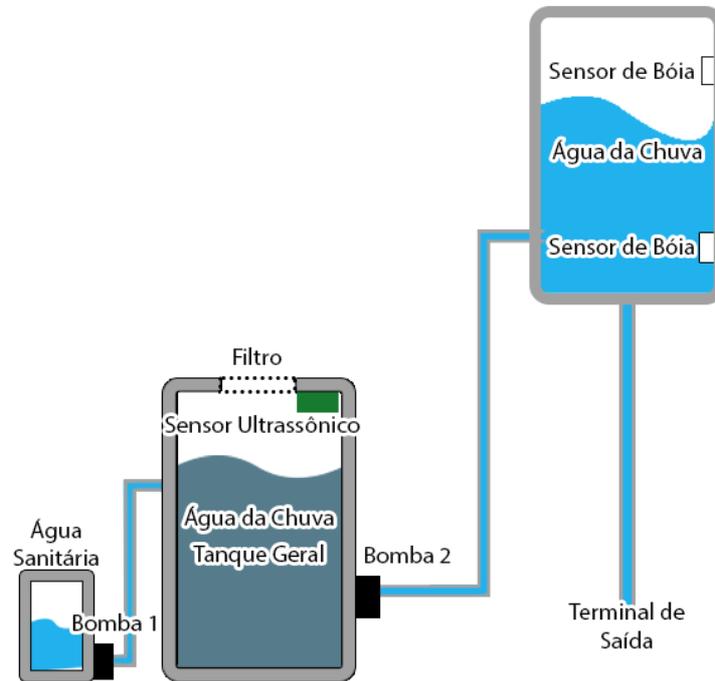
Fonte: Autor (2019)

4.2 ARQUITETURA DO PROTÓTIPO

O sistema do protótipo será controlado pela plataforma Arduino. O Arduino receberá as informações dos sensores, e através dessas informações, realizará cálculos e os comandos para que os atuadores funcionem de acordo com o desejado. Para a programação do Arduino, será utilizado o software de programação da plataforma, com o arduino ligado a um computador através de um cabo USB.

Após programado o Arduino, ele será ligado aos atuadores e sensores, e o sistema funcionará conforme o esquema da figura 14.

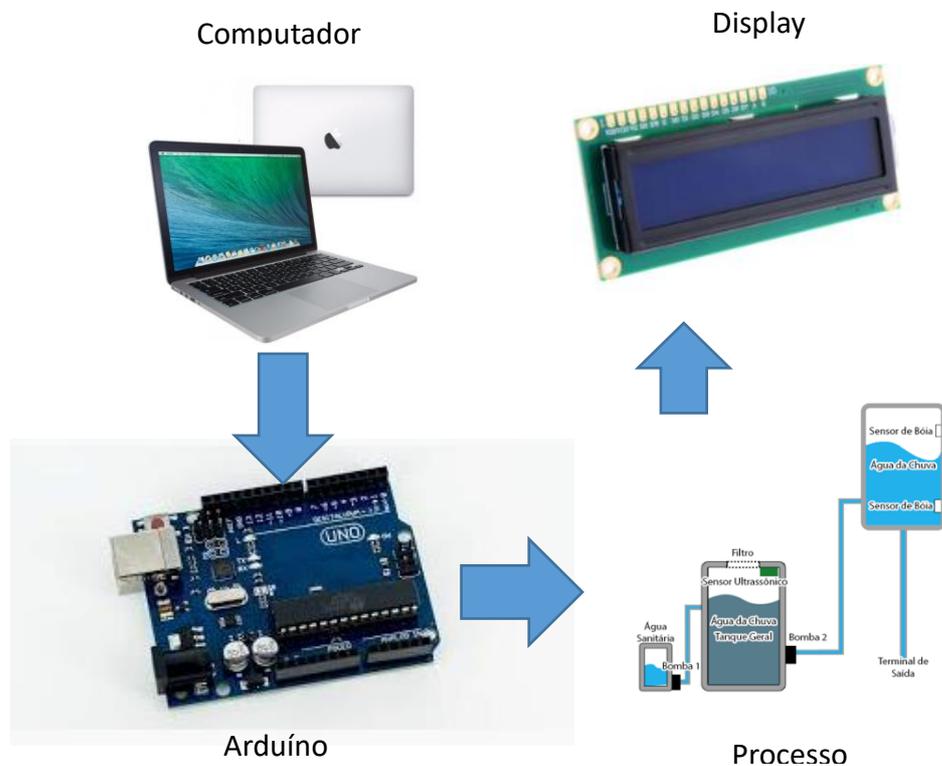
Figura 14 - Arquitetura do Protótipo



Fonte: Autor (2019).

Todas as bombas, o misturador, além dos sensores estarão ligados ao arduíno, como mostrado na figura 15.

Figura 15 - Processo Completo



Fonte: Autor (2019).

4.3 COMPONENTES DO PROTÓTIPO

Neste protótipo, serão utilizados os seguintes componentes, cada um com sua função:

- **Arduíno:** fará o processamento das informações enviada pelos sensores e o acionamento dos atuadores do sistema;
- **Tanque 1:** tanque em que ficará armazenado a água da chuva filtrada, e onde ocorrerá a mistura da água da chuva com a água sanitária;
- **Tanque 2:** tanque em que ficará armazenada a água da chuva pronta para uso pelo usuário;
- **Bomba 1:** utilizada para bombear a água sanitária para o tanque de armazenamento;
- **Bomba 2:** utilizada para bombear a água que estará no tanque geral para o tanque de armazenamento;
- **Motor DC:** será utilizado para misturar a água do tanque de armazenamento com a água sanitária para limpeza da mesma;
- **Sensor Ultrassônico:** será utilizado para medir a quantidade de água disponível no tanque geral;
- **Sensor de boia superior:** responsável por informar ao sistema quando o tanque está cheio;
- **Sensor de boia inferior:** informará ao sistema quando o tanque está vazio;
- **Display:** interface de comunicação do sistema. Informará a quantidade de água da chuva disponível no tanque;
- **Controle:** Para simulação do sistema, será utilizado um controle para dar input ao arduíno, simulando a abertura de uma torneira.

4.3.1 CIRCUITO ELETRÔNICO

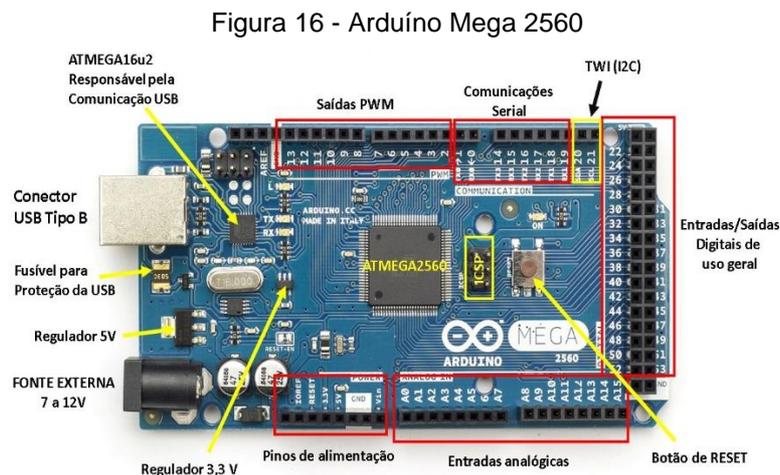
Para a montagem do protótipo, o circuito eletrônico deve ser projetado previamente em software. O software Fritzing será utilizado para projetar quais componentes serão utilizados no protótipo. Projetar antes de montar é muito importante para que haja clareza em quais componentes utilizar, além de evitar perdas

de tempo e de componentes durante a montagem. Ligar um componente em um ponto errado do circuito pode causar danos ao mesmo.

4.3.2 ARDUÍNO

Conforme já discutido anteriormente, o Arduino é uma plataforma de fácil acesso, baixo custo e com software de código aberto, o que facilita sua programação.

Para o protótipo, será utilizado o Arduino Mega. Na figura 16 pode-se encontrar maiores detalhes sobre o modelo, que conta com 16 entradas analógicas, além de 34 entradas/saídas digitais para uso geral. Além disso, o mesmo conta com saídas PWM, comunicação serial, e conexão USB para comunicação com o computador.



Fonte: Embarcados (s.d., p.1).

4.3.3 BOMBAS

Para movimentação da água entre os tanques, além da água sanitária, será utilizada uma bomba de 12V e 90°. Ela atuará fazendo a sucção da água sanitária, que estará em seu tanque, para o tanque geral. Segundo Zaenella (2015), a quantidade de água sanitária que precisa ser movida é mínima, 10mL de água sanitária para cada 100L de água.

Na figura 17 pode-se observar a bomba utilizada.

Figura 17 - Bomba 12v/90graus



Fonte: Silva (2018, p.40).

4.3.4 SENSOR ULTRASSÔNICO

Como dito anteriormente, sensor é aquilo que sente. Para o projeto, será utilizado um sensor ultrassônico no reservatório geral, com a finalidade de medir a quantidade de água existente no tanque. Com essa informação será possível informar ao usuário quando ele estará utilizando água do reservatório de água da chuva ou água da rede comum.

Na figura 18 pode-se observar o modelo do sensor ultrassônico a ser utilizado no projeto. O modelo escolhido foi o HC-SR04, devido à sua facilidade de aquisição e de uso.

Figura 18 - Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fonte: FilipeFlop (s.d., p.1).

4.3.5 SENSOR DE BOIA

Para o tanque com a água já tratada e pronta para uso, não há necessidade de ser medida a quantidade de água exata, uma vez que o tanque de maior

armazenamento é o tanque geral. Porém, há a necessidade de saber se o tanque está vazio ou cheio, para que o sistema saiba quando deve bombear mais água para este tanque.

Para esta função, serão utilizados dois sensores de nível de água que funcionam como boias. Um na parte superior e um na parte inferior. Uma vez que o da parte superior estiver acionado, significa que o tanque está cheio e não necessita de bombeamento de água. Quando o sensor superior não estiver acionado, mas o inferior estiver, significa que o tanque contém água, mas não está cheio. E quando ambos não estiverem acionados significa que o tanque está vazio. Na figura 19 é possível observar o sensor de nível de água.

Figura 19 - Sensor de Nível Hidráulico



Fonte: FilipeFlop (s.d., p.1).

4.3.6 DISPLAY

Para informar ao usuário quando ele estará utilizando água da chuva ou água da rede comum, será utilizado um Display LCD 16x2, conforme o modelo da figura 20.

Este display já possui uma biblioteca própria na plataforma Arduino, fazendo com que sua programação e utilização seja facilitada.

Com ele, pode-se imprimir até 32 caracteres simultaneamente em sua tela, sendo duas linhas com 16 caracteres.

2019.

Figura 20 - Display LCD 16x2



Fonte: FilipeFlop (s.d., p.1).

4.4 PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO

Por dificuldades de espaço e pelo tempo levado para a chegada dos componentes necessários, o Arduino será programado antes da montagem do protótipo em si. Com isso, será possível adiantar o trabalho, além de testar a capacidade do Arduino de executar as ações antes mesmo da montagem do protótipo.

O Arduino será programado no software de sua própria plataforma, em um Macbook Pro 15”.

4.5 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

O protótipo será montado simulando a construção de um sistema em uma residência já construída. O objetivo é construir o mesmo sistema, porém em menor escala, para observar e garantir o seu funcionamento.

Serão utilizados dois recipientes, que simularão os tanques de armazenamento de água, com os sensores e bombas alocados.

Além disso, um terminal de saída será ligado, simulando o terminal final da água dentro da residência, onde o usuário estaria utilizando a água reaproveitada da chuva.

O protótipo será construído e testado no Laboratório de Sistemas Microprocessados, com o auxílio do Prof. Me. Moisés Bastos e de seu aluno do curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado do Amazonas Luís Mena.

4.5.1 ACIONAMENTO DA BOMBA

Como as saídas do Arduíno possuem tensão máxima de 5 Volts, para o acionamento das bombas, que possuem tensão de 12 Volts, serão utilizados 2 relés. O Arduíno fará o acionamento dos relés, que serão ligados a fontes 12 Volts, e a partir daí os relés farão o acionamento das bombas quando devem ser acionadas.

O modelo dos relés a serem é um módulo de 8 relés com acionamento de 5 Volts, que são perfeitos para utilização com Arduíno. Como pode ser observado na figura 21.

Figura 21 – Módulo Relé 5V 8 canais



Fonte: FilipeFlop (s.d., p.1).

4.6 MANGUEIRAS

Em uma rede residencial comum, o transporte da água é feita através de tubos e conexões em PVC. Porém, para a montagem do protótipo, devido à praticidade, serão utilizadas mangueiras de borracha de $\frac{1}{4}$ polegadas. Serão utilizados 2 metros dessa mangueira, e cortados de acordo com o comprimento necessário.

As mangueiras serão ligadas às bombas e aos seus respectivos tanques, simulando o funcionamento dos tubos PVC.

4.7 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Para monitoramento do sistema, foi montado um sistema supervisório no software Matlab, utilizando a ferramenta de comunicação serial com a porta do Arduino.

Neste sistema supervisório, todas as variáveis do sistema são analisadas, de modo que nos permita observar e comprovar o funcionamento do sistema. São analisados os níveis do tanque de distribuição e o nível do reservatório, através dos sinais dos sensores que estão ligados aos mesmos.

Com este sistema supervisório é possível observar o comportamento de todos os sensores e atuadores do sistema em tempo real, e com isso, é possível comprovar

se o mesmo está funcionando corretamente como deveria, ou se há falhas ou malfuncionamento.

4.8 DIMENSIONAMENTO PARA REDES RESIDENCIAIS

Com base no protótipo apresentado e seu funcionamento, simulando em escala reduzida como este sistema funcionaria em uma rede residencial, pode-se fazer o redimensionamento do sistema para redes maiores em escala real.

Uma vez que essas residências ainda estejam em construção, o projeto do sistema muda pode sofrer variações, com o objetivo de economizar o consumo de energia elétrica, pois é possível a retirada de uma das bombas e usar somente a força da gravidade para a movimentação dessa água.

Para sistemas deste porte, é necessário que sejam utilizados componentes mais estáveis e mais resistentes do que os utilizados no protótipo. Isso é necessário para evitar a troca prematura de componentes e para que o sistema seja mais duradouro.

Além disso, outro fator entra em questão também quando pensa-se em residências, que é a questão da tubulação. Cada residência tem sua própria tubulação já calculada, projetada e construída, um projeto como este não visa a mudança dessa tubulação, somente acrescentar uma nova tubulação para terminais onde não haja necessidade de uso de água-potável.

4.8.1 REDE RESIDENCIAL A SER ANALISADA

Para fins de cálculos, a rede residencial a ser analisada neste estudo é uma residência localizada no município de Marabá-PA, com área de 50 metros quadrados. Essa área é ocupada por dois quartos, um banheiro e uma cozinha americana, com dois moradores na residência.

Essa residência foi escolhida por já ter estudos disponíveis para utilização neste trabalho. Arrais, Monteiro e Sardinha (2015) fizeram o estudo sobre o consumo de água potável em potencial a ser substituída por água da chuva, além do dimensionamento do tanque de armazenamento para esta residência.

Os dados analisados resultaram na recomendação de um reservatório de polietileno de 310 litros, além do dispositivo de descarte da primeira água, que é

composto por tubos em PVC, visto na figura 22 (ARRAIS, MONTEIRO E SARDINHA, 2015).

Os dados analisados revelam que o consumo diário da residência estima-se em 0,409 metros cúbicos diários, ou, se levados ao mês, tornam-se 13,0484 metros cúbicos. Como pretende-se substituir apenas as atividades em que não haja necessidade de água potável na residência, esse volume de água cai para 0,0582 metros cúbicos diários, ou 14,21% do consumo total. O que resultaria em 58,2 litros por dia nesta residência, para fins não-potáveis. (ARRAIS, MONTEIRO E SARDINHA, 2015).

Figura 22 - Local para descarte da primeira água



Fonte: ARRAIS, MONTEIRO E SARDINHA (2015, p.10).

Além disso, o estudo revela que a economia mensal através da substituição de água potável por água da chuva em atividades que não exijam água potável seria de R\$ 92,09 (noventa e dois reais e nove centavos) ao ano. Este valor será utilizado para o cálculo do *payback* ao implementar o sistema.

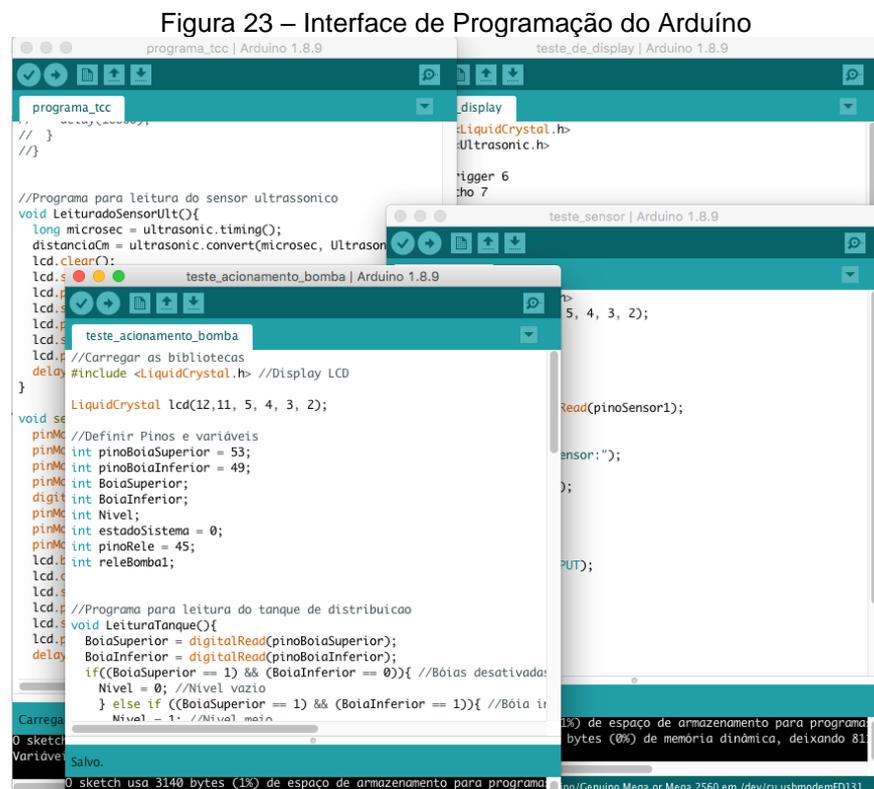
5 RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir deste estudo. Serão mostrados, parte a parte, os resultados de cada parte do protótipo utilizando os materiais já citados acima. Além disso, ao final, será mostrado o resultado do funcionamento do protótipo em si, bem como o dimensionamento do mesmo para uma rede residencial ou empresarial.

5.1 PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO E TESTES

Os primeiros resultados foram obtidos a partir da programação do Arduino. Com a programação do mesmo já foi possível observar a possibilidade ou não da continuidade do estudo.

Após a realização dos primeiros testes, foi possível observar que o Arduino se comporta muito bem com as atividades desejadas. A plataforma consegue executar com eficiência todos os comandos programados. Além da facilidade de utilização da mesma.



Fonte: Autor (2019).

5.1.1 LEITURA DO TANQUE DE DISTRIBUIÇÃO

Depois dos primeiros testes com o a interface de programação do Arduíno, a Arduíno IDE, foi feita a programação da rotina para a leitura do tanque de distribuição do sistema.

Essa rotina de leitura é baseada na informação obtida pelos sensores de nível líquido localizados no tanque de distribuição. A partir da leitura desses sensores é possível saber se o tanque está vazio, cheio ou com água pela metade. E, de posse dessa informação, é possível definir o momento de acionar a bomba para bombeamento da água que está no tanque de armazenamento.

Figura 24 - Parte da programação da Leitura do Tanque de Distribuição

```
//Programa para leitura do tanque de distribuicao
void LeituraTanque(){
  BoiaSuperior = digitalRead(pinoBoiaSuperior);
  BoiaInferior = digitalRead(pinoBoiaInferior);
  if((BoiaSuperior == 1) && (BoiaInferior == 0)){ //Bóias de
    Nivel = 0; //Nível vazio
  } else if ((BoiaSuperior == 1) && (BoiaInferior == 1)){
    Nivel = 1; //Nível meio
  } else if ((BoiaSuperior == 0) && (BoiaInferior ==1)){
    Nivel = 2; //Nível cheio
  }
  AcionamentoBomba();
}
```

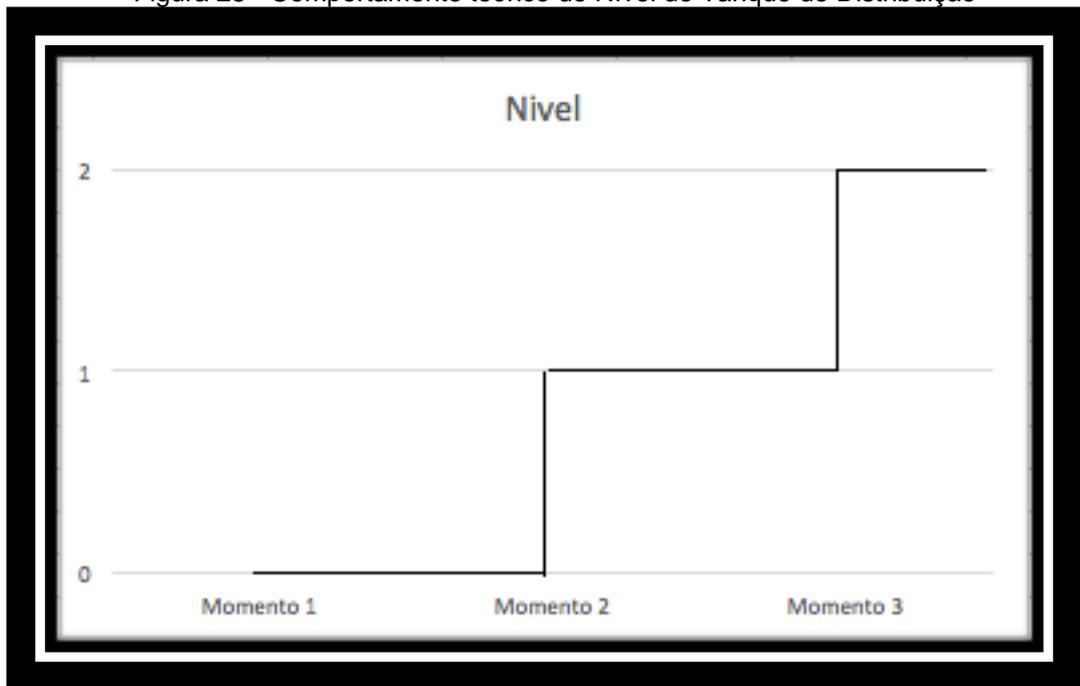
Fonte: Autor (2019).

A partir disso, foram feitos testes e foi possível observar que o sistema conseguiu identificar com êxito quando o tanque estava vazio, cheio ou com líquido pela metade.

Na análise teórica do comportamento deste sistema, pode-se observar nas figuras 25, 26 e 27 como os sensores ligados deveriam atuar no sistema, identificando se o nível do tanque de distribuição era vazio, médio ou cheio.

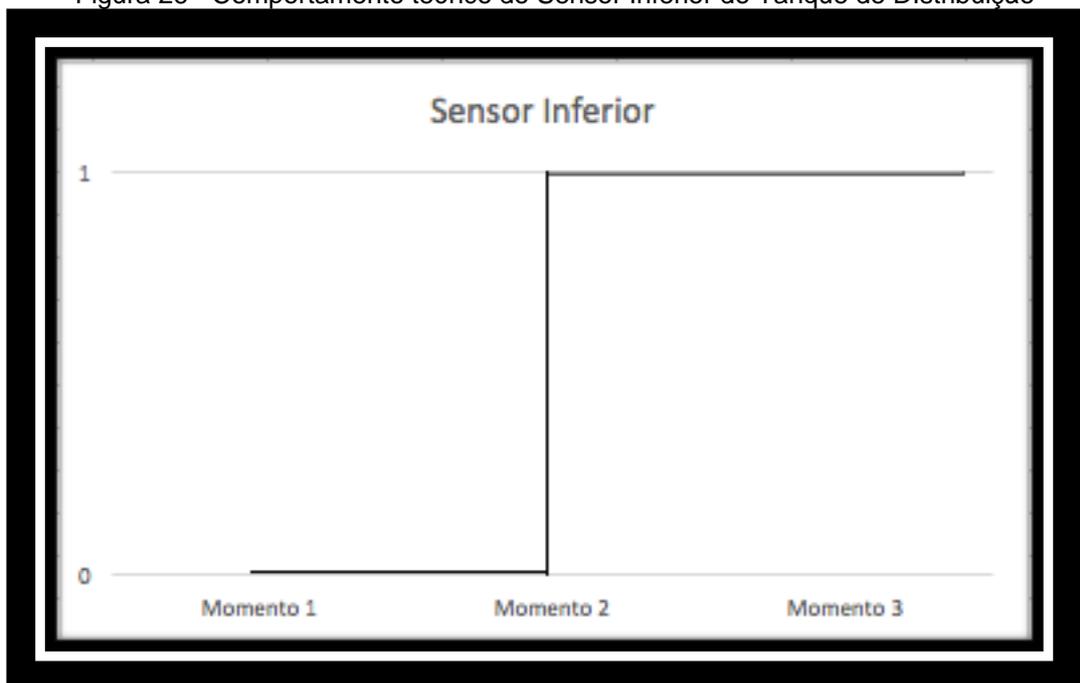
Uma vez que o sensor superior é normalmente fechado e o sensor inferior é normalmente aberto, a interação deles, para identificar o nível do tanque de distribuição é identificada nas figuras abaixo.

Figura 25 - Comportamento teórico do Nível do Tanque de Distribuição



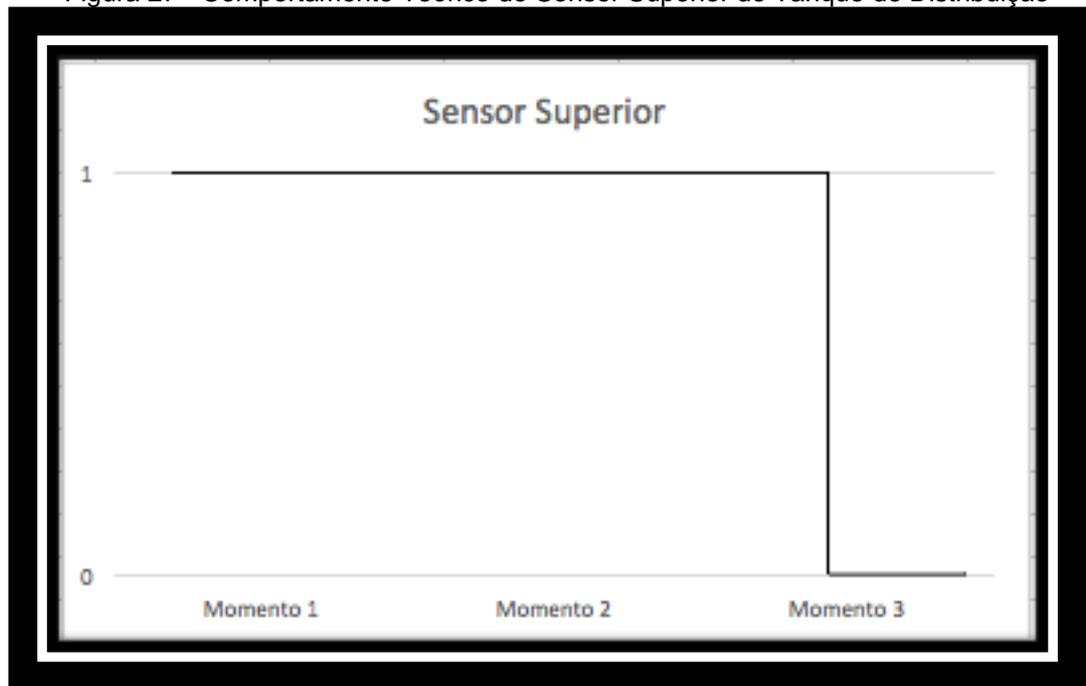
Fonte: Autor (2019).

Figura 26 - Comportamento teórico do Sensor Inferior do Tanque de Distribuição



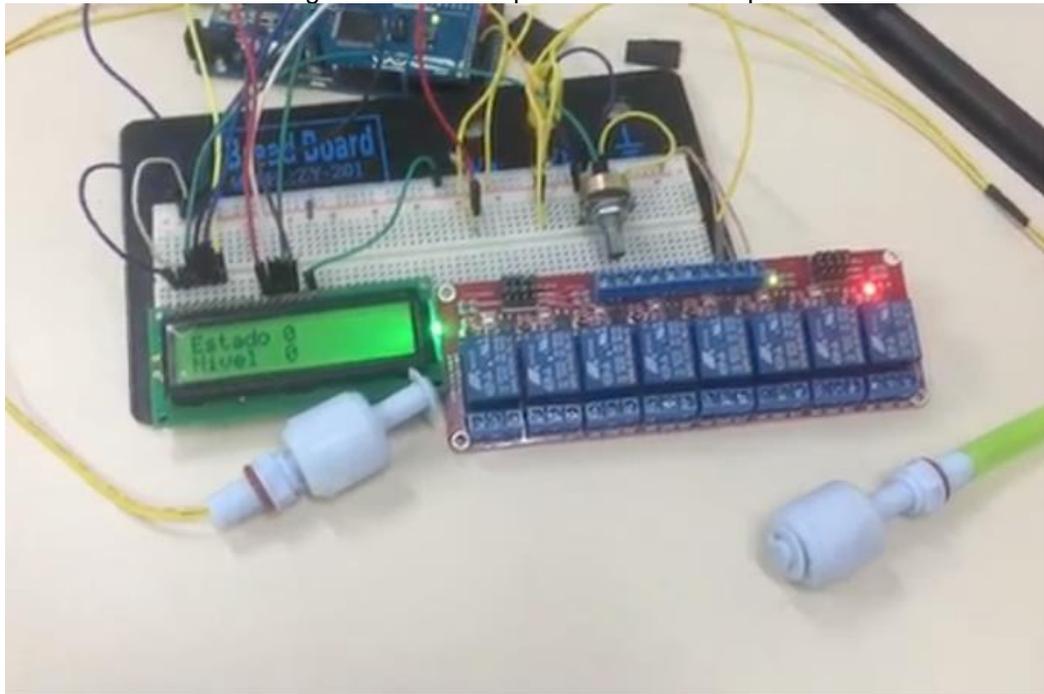
Fonte: Autor (2019).

Figura 27 - Comportamento Teórico do Sensor Superior do Tanque de Distribuição



Fonte: Autor (2019).

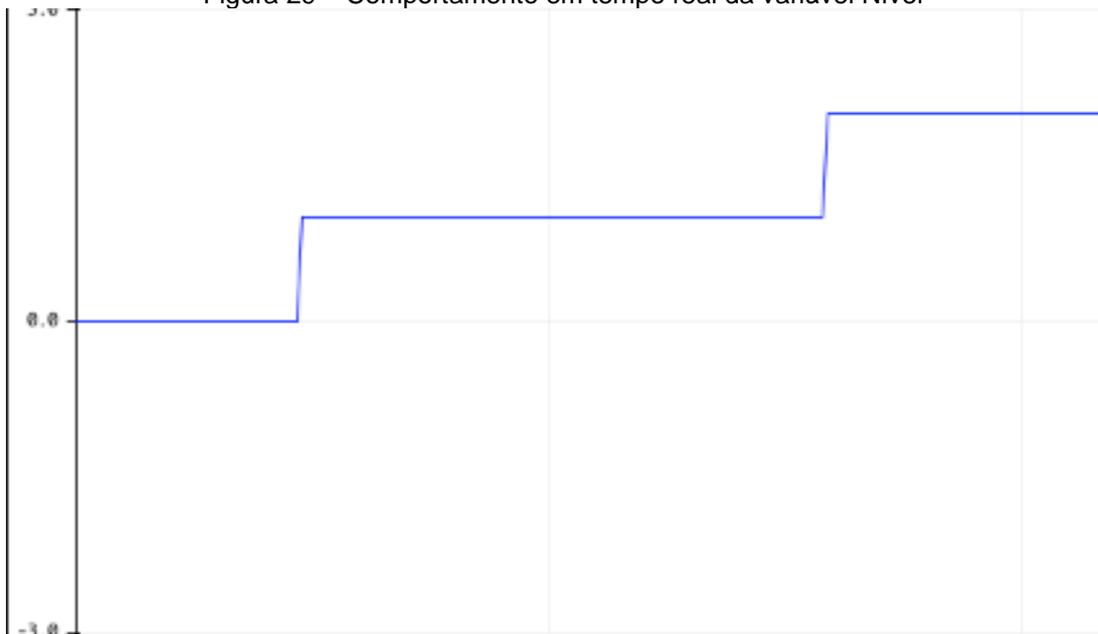
Figura 28 – Testes para leitura do Tanque



Fonte: Autor (2019).

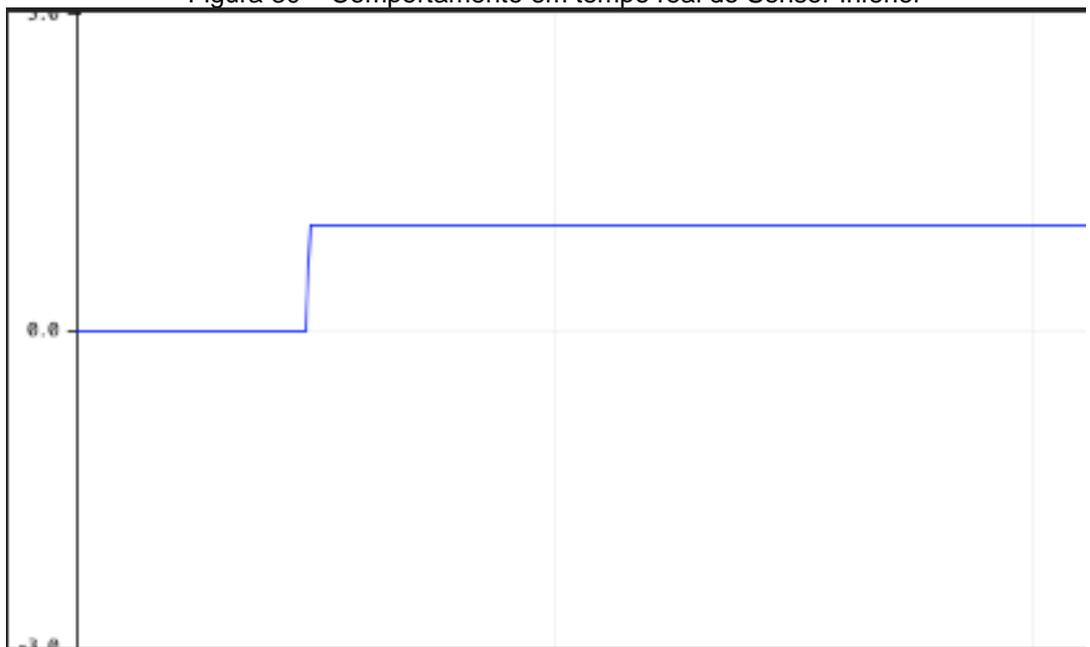
Para observar se o sistema estava funcionando corretamente e comprovar os dados, foi utilizada a função *Serial.print* do Arduino. Com ela, e com a ferramenta *Plotter Serial* foi possível observar o comportamento das 3 variáveis, mostradas abaixo.

Figura 29 – Comportamento em tempo real da variável Nível



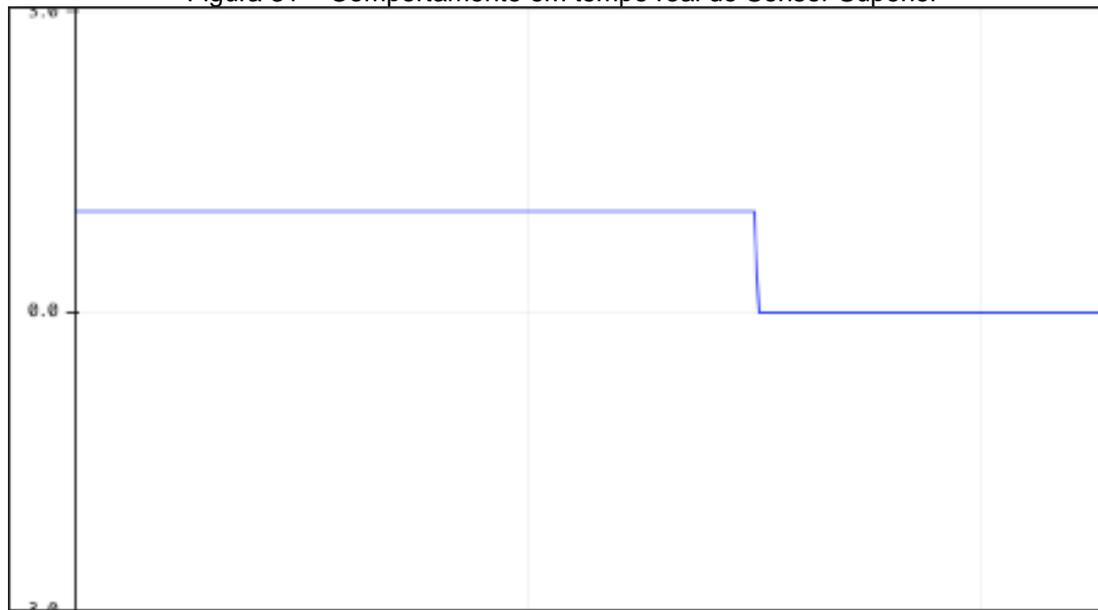
Fonte: Autor (2019).

Figura 30 – Comportamento em tempo real do Sensor Inferior



Fonte: Autor (2019).

Figura 31 – Comportamento em tempo real do Sensor Superior



Fonte: Autor (2019).

Como pode-se observar, todas as variáveis se comportaram da forma planejada. Os sensores são capazes de determinar o nível do tanque de distribuição e, e a variável nível comporta-se da maneira que deve.

5.1.2 ACIONAMENTO DA BOMBA

De posse da informação da quantidade de líquidos no tanque, foi feita a programação para o acionamento da bomba. Nesta programação, foi definida que a bomba seria acionada sempre que o tanque estivesse vazio e com água disponível no reservatório.

Do mesmo modo, a bomba seria desligada sempre que o tanque de distribuição estivesse cheio ou que o reservatório estivesse vazio.

Figura 32 – Parte da programação para acionamento da Bomba

```

//Programa para acionamento da bomba
void AcionamentoBomba() {
  if (distanciaCm < 8) {
    if ((Nivel == 0) && (estadoSistema == 0)) {
      estadoSistema = 0; //Coloca no estado 0 - enchendo
    } else if ((Nivel == 2) && (estadoSistema == 0)) {
      estadoSistema = 1; //Coloca no estado 1 - esvaziando
    } else if ((Nivel == 0) && (estadoSistema == 1)) {
      estadoSistema = 0; //Coloca no Status enchendo
    } } else if (distanciaCm > 8) {
      estadoSistema = 1;
    }
  }
  if (estadoSistema == 0) {
    digitalWrite(pinoRele,HIGH); //Aciona a Bomba1
  } else if (estadoSistema == 1) {
    digitalWrite(pinoRele,LOW); //Desativa a Bomba
  }
}

```

Fonte: Autor (2019).

A partir desta programação, foram realizados os testes de acionamento da bomba, e o sistema funcionou corretamente como o esperado. O Arduino envia o comando de acionamento para um relé, que a partir dele, a bomba é acionada. Mais a frente será mostrado o funcionamento da bomba.

5.1.3 ACIONAMENTO DA BOMBA PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA SANITÁRIA

A bomba para bombeamento de água sanitária ao reservatório deve ser acionada periodicamente, de acordo com as instruções de Zaenella (2015), obedecendo uma quantidade mínima de 10 mililitros de água sanitária para cada 100 litros de água. Como o tanque será esvaziado e enchido diversas vezes, de acordo com cada período de tempo ou de chuvas, cabe ao usuário periodicamente acionar esta bomba para bombeamento de água sanitária.

Para isso, um *pussbutton* foi instalado nos testes para executar o bombeamento dessa água sanitária para o reservatório.

Figura 33 – Programação para bombeamento de Água Sanitária

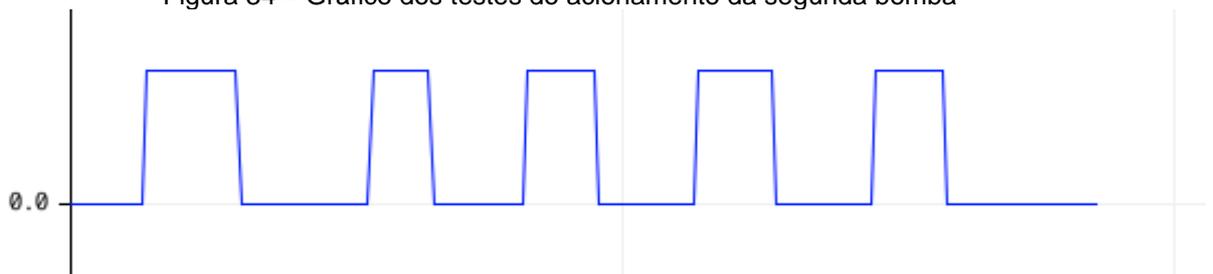
```
//Programa para acionamento da bomba 2
void AcionamentoDaBomba2() {
  push = digitalRead(pushbutton);
  Boia3 = digitalRead(pinoBoia3);
  if (Boia3 == 1) {
    if (push == HIGH) {
      ativarele2 = 1;
    }
  }

  if (ativarele2 == 1) {
    digitalWrite(pinoRele2,HIGH);
  } else if (ativarele2 == 0) {
    digitalWrite(pinoRele2,LOW);
  }
}
```

Fonte: Autor (2019).

Para comprovar o funcionamento desta seção, mais uma vez a ferramenta *Plotter Serial* do Arduino foi utilizada para observar o acionamento do segundo relé, que aciona a segunda bomba do sistema. A bomba foi acionada 5 vezes pelo *pushbutton*, e a saída do relé pode ser observada no gráfico da figura 34 abaixo.

Figura 34 – Gráfico dos testes do acionamento da segunda bomba



Fonte: Autor (2019).

Como pode-se observar, há 5 picos no gráfico da variável de saída para o relé que aciona a segunda bomba. Estes 5 picos representam que a saída foi ativada nas 5 vezes as quais a bomba foi acionada pelo *pushbutton*, provando o funcionamento da lógica.

5.1.4 LEITURA DO RESERVATÓRIO

Por fim, na programação, foi feita a rotina para leitura do reservatório, através do sensor ultrassônico que se encontra no mesmo. Com essa leitura, é possível saber se ainda há água para utilizar no sistema ou não, e com isso, informar ao usuário quando ele está ou não utilizando água da chuva.

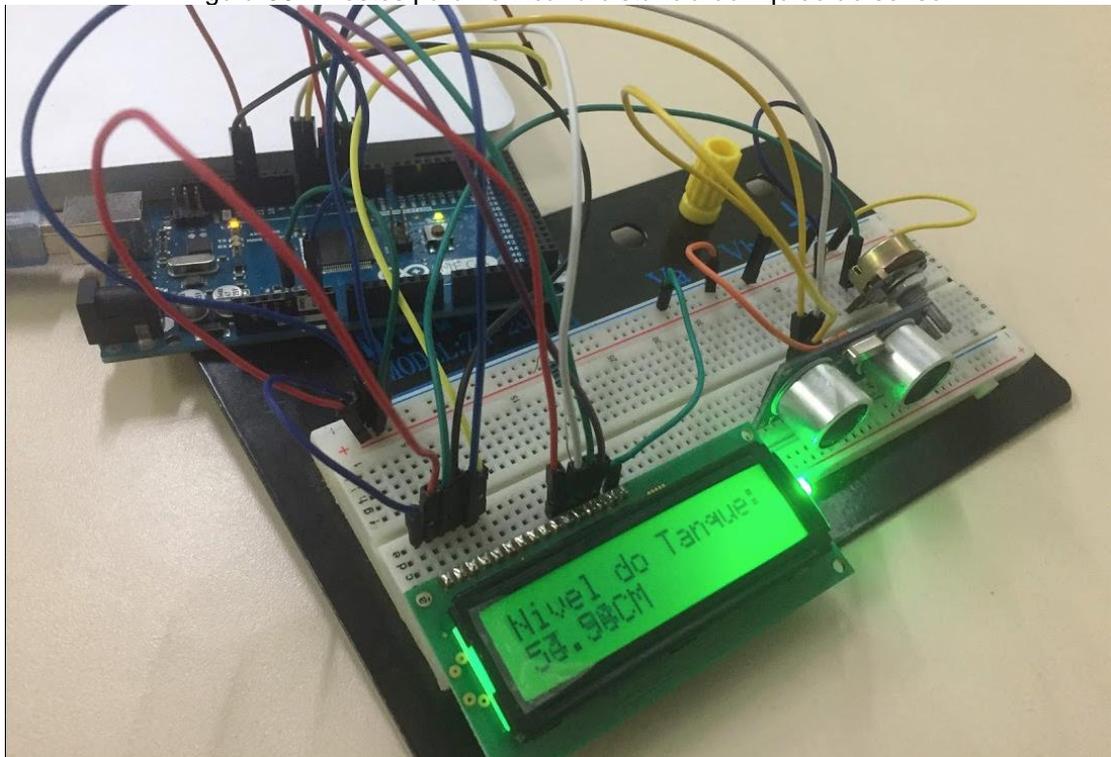
Figura 35 – Programação para leitura do Reservatório

```
//Programa para leitura do sensor ultrassônico
void LeituraSensorUlt(){
    long microsec = ultrasonic.timing();
    distanciaCm = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Nivel do Tanque:");
    lcd.setCursor(3,1);
    lcd.print(distanciaCm);
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print("CM");
    delay(800);
}
```

Fonte: Autor (2019).

Uma vez com a programação pronta, foram realizados testes para verificar o funcionamento da mesma e foi possível saber a distância do líquido para o sensor.

Figura 36 – Testes para verificar a distância do líquido ao sensor



Fonte: Autor (2019).

Para que a informação seja melhor compreendida pelo usuário, a grandeza mostrada, que está na distância em centímetros do líquido para o sensor, deve ser convertida para litros. Isso será mostrado na seção 5.2.2 deste capítulo, que trata sobre o reservatório, uma vez que essa conversão depende do reservatório que está sendo utilizado.

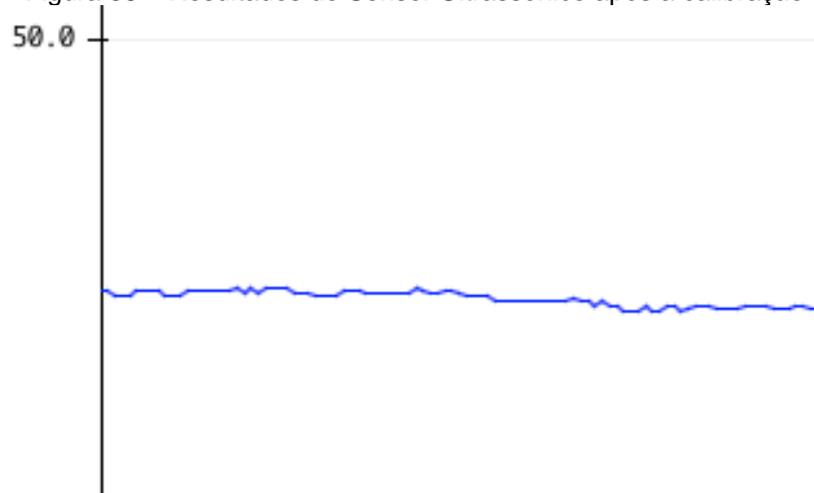
Durante o teste do sensor ultrassônico, foi observado muita instabilidade. Para melhorar o sinal de saída do sensor ultrassônico foi adicionado na lógica de programação um artifício matemático para que os valores mostrados no gráfico seja a média de 50 leituras do sensor ultrassônico em frações muito pequenas de segundos. Com isso, a instabilidade do sensor diminuiu drasticamente, fazendo com que o mesmo tenha resultados mais apurados.

Figura 37 – Resultados do Sensor Ultrassônico antes da calibração



Fonte: Autor (2019).

Figura 38 – Resultados do Sensor Ultrassônico após a calibração



Fonte: Autor (2019).

5.2 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Com a programação pronta, foi iniciada a montagem do protótipo com os componentes já previamente testados durante a programação.

O protótipo foi montado e testado no Laboratório de Sistemas Microprocessados, sob auxílio do Prof. Me. Moisés Bastos e seu aluno do curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado do Amazonas Luís Mena.

5.2.1 IMPRESSÃO DE COMPONENTES NA IMPRESSORA 3D

Antes de iniciar a montagem do protótipo, por se tratar de um protótipo único, foi necessário imprimir alguns suportes na impressora 3D, disponibilizada pelo Laboratório de Sistemas Microprocessados da Universidade do Estado do Amazonas.

A impressão em 3D, para o uso aplicado, funcionou perfeitamente. As peças impressas tiveram a resistência física necessária para o funcionamento, e os sensores puderam ser corretamente fixados em suas posições, sem necessidade de alterações.

Figura 39 – Suporte para o sensor, impresso na impressora 3D



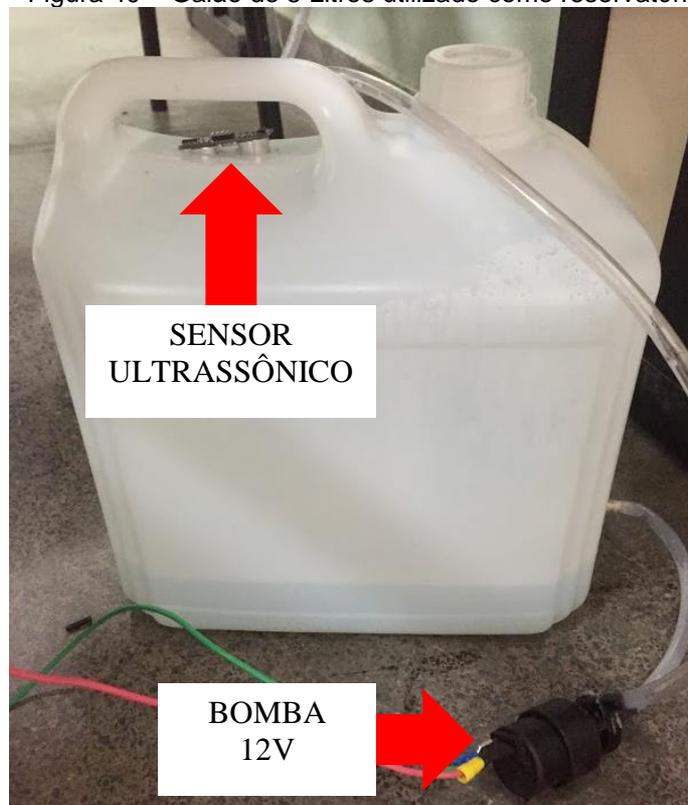
Fonte: Autor (2019).

5.2.2 RESERVATÓRIO

Como é um modelo de escala menor, foi utilizado um galão de 10 litros para reservatório da água. Nele foi fixado o sensor ultrassônico e precisou da utilização de um bico para fixação das mangueiras

As mangueiras foram ligadas à bomba, e testadas. Com o objetivo do protótipo, o sensor e a bomba ligados ao reservatório funcionaram corretamente. Foi possível medir a quantidade de água no reservatório, além de a bomba funcionar corretamente, levando a água ao tanque de distribuição.

Figura 40 – Galão de 5 Litros utilizado como reservatório



Fonte: Autor (2019).

Uma vez que o sensor ultrassônico nos fornece a distância em centímetros do material ou objeto mais próximo (no caso do protótipo a água), as medidas do galão tiveram que ser utilizadas para converter essa informação em volume de água.

Este galão comporta até 10 litros de água, e possui uma altura de 22,5 centímetros. Com o uso da função *map* do arduino, foi possível converter a informação obtida pelo sensor ultrassônico em litros. Convertendo os valores mínimo de 0 centímetros e máximo de 22,5 centímetros em valor mínimo 0 litros e valor máximo 10 litros. Os resultados dessa conversão serão mostrados na seção 5.4 deste capítulo.

5.2.3 TANQUE DE DISTRIBUIÇÃO

Para o tanque de distribuição, foi montado em um recipiente de 2 litros os dois sensores de nível com o suporte impresso na impressora 3D, disponibilizada pelo Laboratório de Sistemas Microprocessados, além da abertura para entrada da mangueira de ¼ polegada. Na parte de baixo desse recipiente, foi adicionada uma torneira, com a finalidade de simular a utilização da água bombeada para este recipiente.

Como já mencionado anteriormente, o suporte impresso na impressora 3D funcionou corretamente, deixando o sensor bem fixado na posição definida. Os sensores dentro do recipiente também funcionaram corretamente, enviando os sinais à bomba quando o tanque está cheio ou vazio.

Figura 41 – Reservatório de 2 litros utilizado como tanque de distribuição

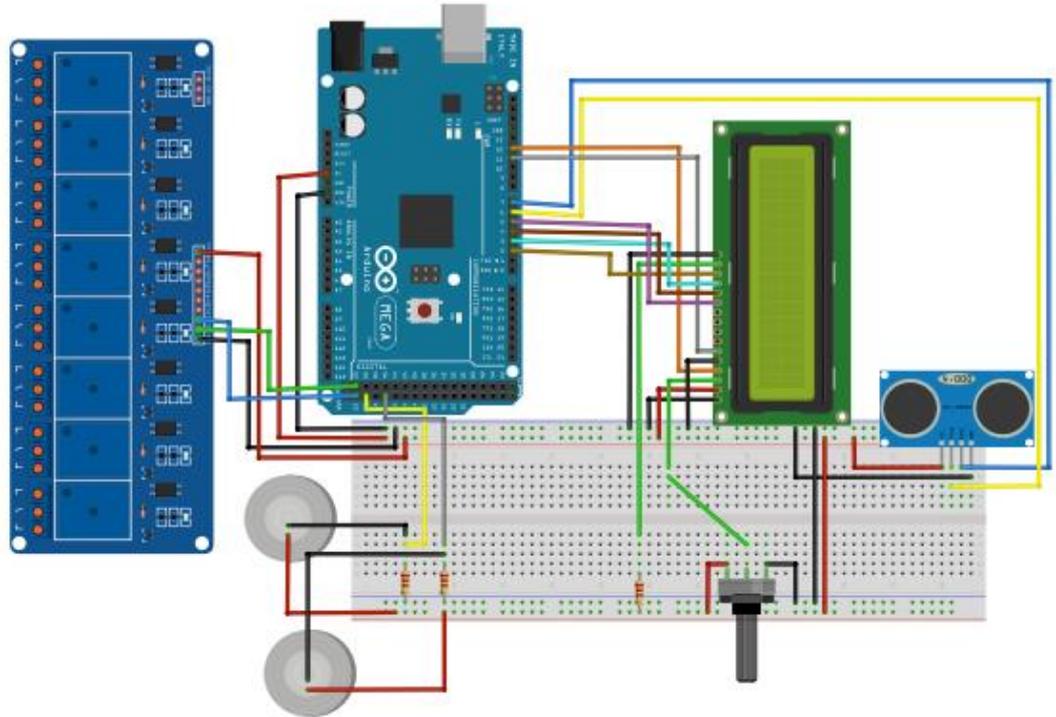


Fonte: Autor (2019).

5.2.4 MONTAGEM DO CIRCUITO

O circuito foi previamente projetado no software Fritzing, como pode ser observado na figura 42.

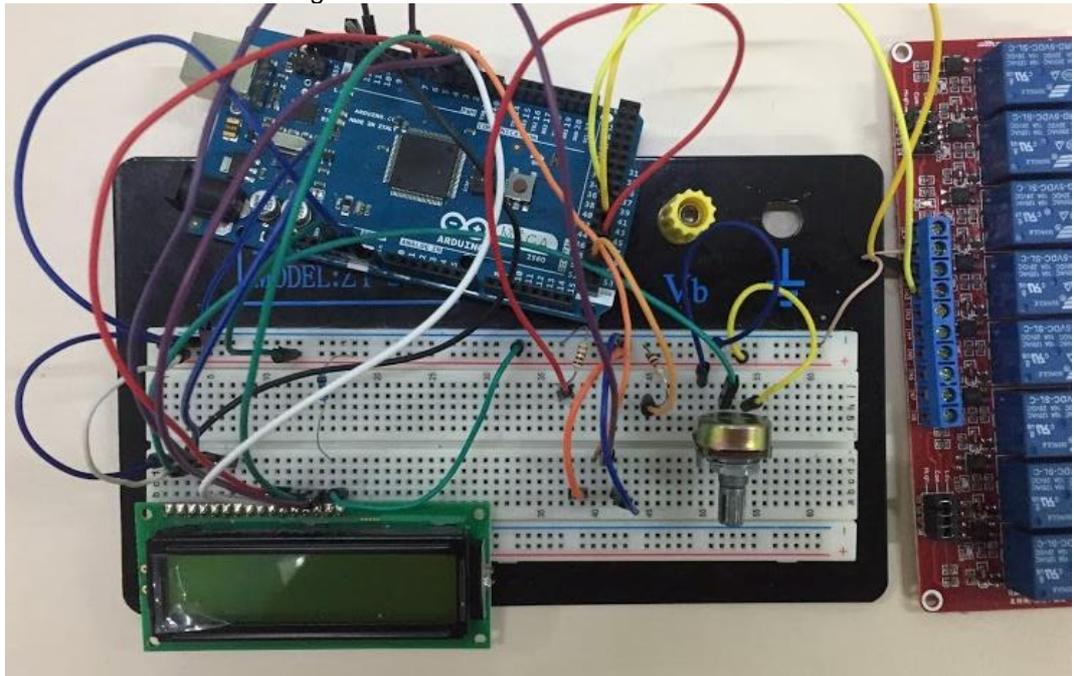
Figura 42 – Testes para verificar a distância do líquido ao sensor



Fonte: Autor (2019).

A partir deste circuito, foi montado o circuito físico em uma protoboard. Na protoboard foram feitas as ligações de cabos, e os sensores ficaram em suas respectivas posições. Na figura 43 pode-se observar a montagem do circuito na protoboard.

Figura 43 – Circuito montado na Protoboard

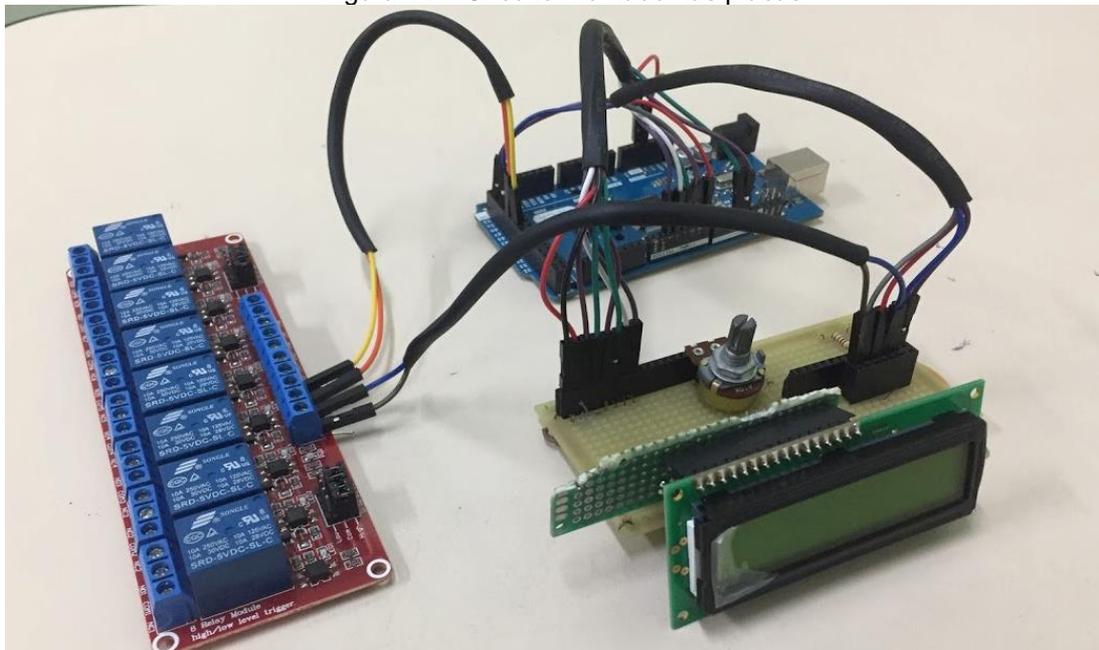


Fonte: Autor (2019).

O circuito funcionou perfeitamente na protoboard com todos os componentes funcionando perfeitamente.

A partir disso, foi projetada uma placa para melhor aparência e evitar mal contatos durante o funcionamento do sistema.

Figura 44 – Circuito montado nas placas



Fonte: Autor (2019).

5.3 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

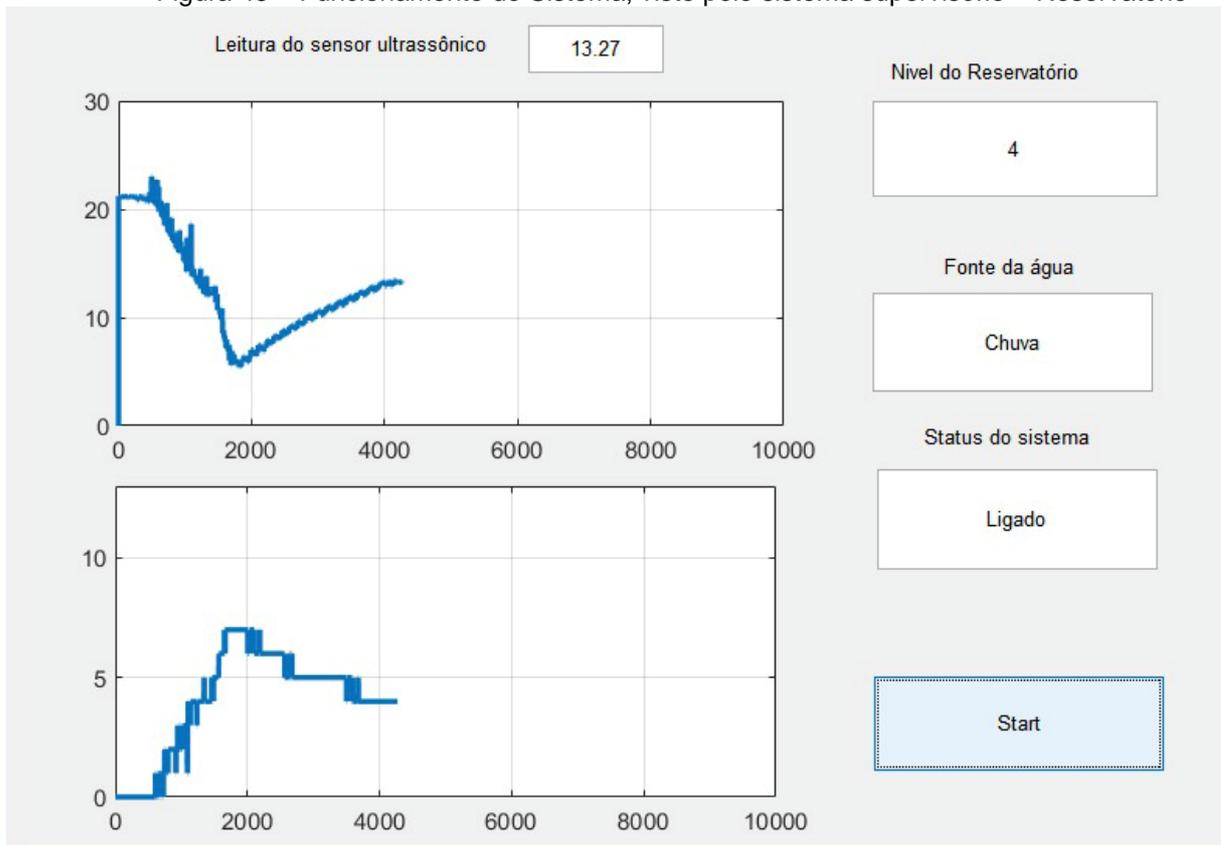
Após todos os testes dos sistemas individuais do protótipo, ele foi integrado e montado no Laboratório de Sistemas Microprocessados. O reservatório ficou no chão, enquanto o tanque de distribuição ficou acima da mesa. Ambos ligados pela mangueira de ¼ polegada com a bomba.

O sistema funcionou corretamente e atendeu todas as expectativas. Foi capaz de fazer o bombeamento da água de maneira correta, e além disso, foi capaz de informar ao usuário quando estava utilizando água da chuva.

O protótipo foi testado por 8 horas consecutivas, esvaziando e enchendo ambos os reservatórios, simulando todas as situações possíveis, e com isso, se provou estável, sem nenhum erro.

Para a análise dos resultados, foi utilizado o sistema supervisorio que foi projetado no Matlab para obtenção dos resultados.

Figura 45 – Funcionamento do Sistema, visto pelo sistema supervisorio – Reservatório



Fonte: Autor (2019).

Na figura acima, pode-se observar os dados gráficos das atividades realizadas no reservatório através do sistema supervisorio. No primeiro gráfico, observa-se, as curvas de distância do sensor ultrassônico até a água. É possível observar, em um primeiro momento, o reservatório sendo enchido, e, portanto, a distância entre o sensor ultrassônico e a água diminuindo. No segundo momento, a

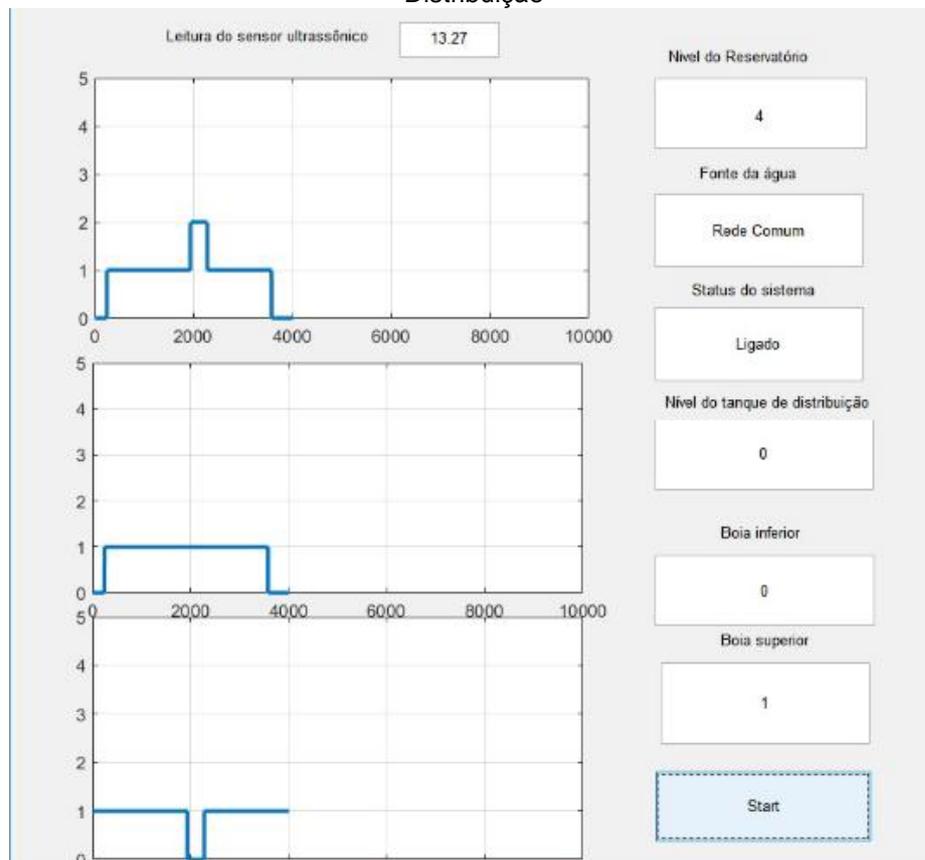
bomba foi ligada e o tanque passou a ser esvaziado, com isso, a distância voltou a aumentar.

No gráfico inferior, observa-se o valor de água no tanque em litros, obtido através da distância do sensor ultrassônico. Esse valor é inversamente proporcional à distância do sensor ultrassônico até a água. Por esse motivo, no primeiro momento, quando o reservatório estava sendo enchido de água, o gráfico está em ascensão. Quando a bomba é ligada, no segundo momento, o valor em litros de água no reservatório passa a diminuir, e com isso, o gráfico mostra a diminuição dessa água.

Além disso, nesta tela do sistema supervisorio, ao lado direito, é possível observar o nível do reservatório em litros, se a fonte de água que o usuário estaria utilizando é da chuva ou da rede comum, além do status do sistema, que informa se a bomba está ligada ou desligada, enchendo o tanque de distribuição.

Já para o tanque de distribuição, outra tela neste sistema supervisorio é utilizada.

Figura 46 – Funcionamento do Sistema, visto pelo sistema supervisorio – Tanque de Distribuição



Fonte: Autor (2019).

Na figura acima, pode-se observar o funcionamento do tanque de distribuição em dados gráficos na tela do sistema supervisorio. No primeiro gráfico, observa-se o

nível do tanque de distribuição. Durante o teste da figura, pode-se observar que ele foi enchido e esvaziado, fazendo com que a variável de nível saia do nível 0 ao nível 2, e, posteriormente, retornando ao nível 0.

No segundo gráfico, observa-se a variável gerada pelo sinal do sensor inferior do tanque de distribuição. Este sensor, que é normalmente aberto, quando fecha contato, indica que o nível da água subiu, e, portanto, a variável de nível do tanque de distribuição sai de 0 para 1, assim como a variável do sensor inferior. Ao final do teste, quando o tanque de distribuição é esvaziado, pode-se observar que o sensor abre novamente o contato, fazendo com que a variável volte a retornar ao 0.

No terceiro gráfico observa-se o sensor superior do tanque de distribuição. Este sensor, por ficar de cabeça para baixo, é normalmente fechado. Portanto, quando iniciado, a variável que o representa inicia com valor 1. Quando o tanque chega ao seu nível máximo, o contato deste sensor abre, e a variável que o representa cai para zero, indicando que o tanque está cheio. A partir disso, o tanque é esvaziado, e logo o sensor passa a fechar contato novamente, retornando a variável para 1.

É possível observar nestes 3 gráficos também a integração entre as 3 variáveis, mostrando que o sistema de controle de nível do tanque de distribuição também funciona corretamente.

Ao lado, na tela do sistema supervisorio, ainda é possível observar o nível do tanque reservatório em litros, se o usuário está utilizando água da rede comum ou água da chuva, se o sistema (bombas) estão ligadas ou desligadas, além do nível do tanque de distribuição e o sinal que o sistema recebe dos sensores.

5.4 REDIMENSIONAMENTO PARA REDES RESIDENCIAIS

O protótipo funciona conforme o esperado, porém em pequena escala. Para que este sistema funcione em maior escala, deve-se utilizar componentes mais robustos. Evitando assim a troca prematura de componentes, ou instabilidade no sistema por estar em regiões não adequadas.

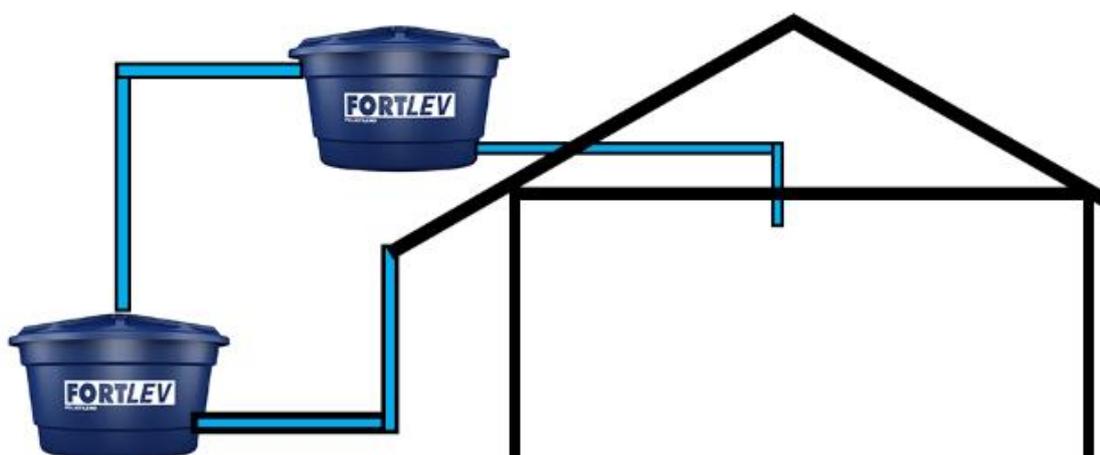
Além disso, há diferenças entre sistemas de residências que já foram construídas e sistemas em residências que ainda irão ser construídas. Essas diferenças podem ser melhor analisadas nos pontos 5.5.1 e 5.5.2. As mesmas visam economia na aquisição de materiais no caso de residências a serem construídas e redução de consumo.

5.4.1 REDES RESIDENCIAIS JÁ CONSTRUÍDAS

O sistema funciona exatamente como no protótipo. Ficaria com os tanques alocados estrategicamente em duas posições. Um dos tanques, que é o reservatório, onde a maior parte da água ficará armazenada, fica no nível do solo. A água que cai das calhas deve escorrer até este tanque, e após o tratamento desta água dentro do tanque, ele será bombeado para o tanque de distribuição.

O tanque de distribuição, por sua vez, deve ficar posicionado em um nível acima da altura da casa. Isso se faz necessário para que o tanque possa distribuir a água pela residência sem a necessidade de bombas elétricas, utilizando somente a força da gravidade, conforme a figura 47.

Figura 47 – Local onde o tanque de distribuição deveria ficar armazenado



Fonte: Autor (2019).

Para a residência analisada, segundo o estudo de Arrais, Monteiro e Sardinha (2015), o ideal é a utilização de um tanque de 310 litros. Como esse volume será dividido entre duas caixas d'água de 150 litros. Além da mudança do tanque, os componentes a serem utilizados também precisam ser mudados por componentes que oferecem maior estabilidade a sistemas mais robustos, diminuindo o risco de malfuncionamento ou troca prematura de componentes.

Os componentes devem ser substituídos da seguinte forma:

- **Arduíno → Placa de Circuito Impresso:** uma vez que a programação e a rotina de atividades forem definidas, não há necessidade de implementar toda a placa do arduíno no sistema, bastando somente uma placa de circuito impresso de acordo com o sistema aliada ao microcontrolador do Arduíno.

- **Tanque → Caixa d'água 150 Litros:** tanque em que ficará armazenado a água da chuva filtrada, o dimensionamento dele pode variar de acordo com o tamanho da residência, mas este é o recomendado para a residência analisada;
- **Tanque 2 → Caixa d'água 150 Litros:** uma vez que a água não irá descer ao solo, não há necessidade de um segundo tanque;
- **Bomba 12V → Permanece sem mudanças:** utilizada para bombear a água sanitária para o tanque de armazenamento. Não há necessidade de mudanças pois a mesma já atende aos requisitos do projeto;
- **Bomba 2 → Bomba de Piscina - Syllent Aqquant Pf63e0305as 1/3 Cv:** esta é uma bomba utilizada em piscinas com valor de mercado relativamente baixo. Possui boas recomendações, além de atender ao projeto desejado;
- **Sensor Ultrassônico HC-SR04 -> Sensor Ultrassônico a prova d'água SN-SR04T:** este sensor é mais robusto, além de ser a prova d'água, portanto é o recomendado para o projeto;
- **Sensor de boia superior ->** este sensor permanece no sistema como no protótipo;
- **Sensor de boia inferior ->** este sensor permanece no sistema como no protótipo;
- **Display:** este pode permanecer, porém há a possibilidade de um upgrade para um modelo maior, para facilitar a visualização dentro da residência

5.4.2 REDES RESIDENCIAIS A SEREM CONSTRUÍDAS

Como previamente mencionado, uma rede residencial que ainda não foi construída possui a vantagem da eliminação de componentes do sistema que trariam uma redução de consumo e do valor do projeto.

Uma vez que a residência ainda não está construída, pode-se incluir no projeto da mesma a o posicionamento do sistema, fazendo com que a construção do mesmo seja bem mais simples e barata.

A figura 48 mostra a mudança no projeto necessária para a inclusão do sistema de aproveitamento de água da chuva proposto.

Figura 48 – Mudança no projeto de uma residência



Fonte: Autor (2019).

O sistema ficaria alocado acima de uma laje, abaixo do telhado. A construção dessa laje já é comum nas construções mais atuais, a diferença seria que, para que haja melhor acomodação do sistema, faz-se necessário que a altura seja um pouco maior que o comum.

Além disso, há a possibilidade de a construção ser feita de tal forma que a calha que absorve a água que vem do telhado já seja ligada diretamente a este tanque, evitando assim a necessidade de um segundo tanque, bem como da bomba para bombear a água entre os dois tanques. E é daí que vem a economia nos componentes e no consumo.

Conforme mencionado anteriormente, o tanque e os componentes a serem utilizados também precisam ser mudados para oferecer maior estabilidade ao sistema.

Os componentes devem ser substituídos da seguinte forma:

- **Arduíno → placa de Circuito Impresso:** uma vez que a programação e a rotina de atividades forem definidas, não há necessidade de implementar toda a placa do arduíno no sistema, bastando somente uma placa de circuito impresso de acordo com o sistema aliada ao microcontrolador do Arduíno.
- **Tanque → caixa d'água de 310L:** tanque em que ficará armazenado a água da chuva filtrada, o dimensionamento dele pode variar de acordo com o tamanho da residência, mas este é o recomendado para a residência analisada;
- **Tanque 2 → eliminado:** uma vez que a água não irá descer ao solo, não há necessidade de um segundo tanque;

- **Bomba 12V → permanece sem mudanças:** utilizada para bombear a água sanitária para o tanque de armazenamento;
- **Bomba 2 → eliminada:** como não há um segundo tanque, não há necessidade desta bomba. A água será distribuída para a residência utilizando somente a força da gravidade;
- **Sensor Ultrassônico HC-SR04 -> eliminado:** como não há um tanque de armazenamento, somente um tanque de distribuição geral, não há necessidade de um sensor ultrassônico, podendo ser utilizado somente dois sensores de nível, devido ao menor custo;
- **Sensor de boia superior -> permanece o mesmo modelo:** utilizado para medir quando o tanque de distribuição está em seu nível máximo;
- **Sensor de boia inferior -> permanece o mesmo modelo:** Utilizado para informar ao usuário quando o tanque de distribuição está vazio;
- **Display:** este pode permanecer, porém há a possibilidade de um upgrade para um modelo maior, para facilitar a visualização dentro da residência;

5.5 VALORES DO PROJETO

Para que um projeto deste porte seja implantado, é necessário um investimento para aquisição dos equipamentos. Este investimento poderá, ou não, trazer um retorno financeiro na economia de água da rede comum utilizada pelo usuário, a depender da situação de cada residência.

5.5.1 PROTÓTIPO

Neste protótipo, todos os equipamentos utilizados foram equipamentos de baixo custo quando comparados ao mercado.

Abaixo, estão listados todos os componentes com valores para o projeto:

Tabela 1 – Custos do Protótipo

Componente	Quantidade	Valor (total)
Arduino Mega	1	R\$ 60,00
Placa para circuito	1	R\$ 2,00
Galão de 10 L	1	R\$ 12,00
Galão de 5 L	1	R\$ 10,00
Recipiente 2 L	1	R\$ 33,00
Tubos 1/4 pol (metro)	2	R\$ 8,00
Conexões para mangueira	2	R\$ 16,00
Sensor Ultrassonico	1	R\$ 11,90
Sensor de Nível Hidráulico	3	R\$ 18,90
Bombas 12 V	2	R\$ 44,00
Modulo Relé 8 Canais	1	R\$ 65,00
Outros componentes		R\$ 12,00
	Total	R\$ 280,80

Fonte: Autor (2019)

As peças que foram confeccionadas por impressão 3D não estão listadas acima pois foram doadas pelo Laboratório de Sistemas Microprocessados, sob orientações do Prof. Me. Moisés Bastos e o graduando de Engenharia Elétrica Luís Mena.

5.5.2 PROJETO PARA UMA RESIDÊNCIA JÁ CONSTRUÍDA

Conforme mencionado anteriormente, para que um projeto como este seja implantado, é necessário um investimento.

Abaixo, pode-se verificar o valor de cada componente necessário para a implantação de tal projeto em uma residência já construída.

Tabela 2 – Custos para o projeto em uma residência já construída

Componente	Quantidade	Valor (total)
Placa de Circuito Impresso	1	R\$ 250,00
Caixa d'Água de 150 L	2	R\$ 325,34
Bomba Hidráulica de 12 V	1	R\$ 22,00
Bomba de Piscina - Syllent Aququant 1/3 Cv	1	R\$ 590,40
Sensor Ultrassonico a prova d'agua SN-SR04T	1	R\$ 29,00
Sensor de Nível Hidráulico	4	R\$ 29,80
Display LCD 16x2	1	R\$ 16,90
Filtro de água de chuva	1	R\$ 30,00
	Total	R\$ 1.311,54

Fonte: Autor (2019)

Como pode ser observado, o valor total, em equipamentos, para a implantação do projeto seria de aproximadamente R\$ 1.282,54.

Neste custo não está incluída a tubulação para ligação na residência, nem os valores de trabalhos manuais para a implantação, nem estrutura para elevação do tanque de distribuição, uma vez que são valores que variam de acordo com cada residência, e também variam de acordo com regiões.

5.5.3 PROJETO PARA UMA RESIDÊNCIA A SER CONSTRUÍDA

Por outro lado, para residências que ainda não foram construídas, o sistema passa a ser mais barato, uma vez que há a possibilidade na economia de componentes.

Abaixo, pode-se observar os valores para o sistema:

Tabela 3 – Custos para o projeto em uma residência ainda não construída

Componente	Quantidade	Valor (total)
Placa de Circuito Impresso	1	R\$ 250,00
Caixa d'Água 310L	2	R\$ 181,00
Bomba Hidráulica de 12 V	1	R\$ 22,00
Sensor de Nível Hidráulico	2	R\$ 29,80
Display LCD 16x2	1	R\$ 16,90
Filtro de água de chuva	1	R\$ 30,00
	Total	R\$ 529,70

Fonte: Autor (2019)

Como pode ser observado, o valor de investimento para este sistema em uma residência que ainda não foi construída seria de aproximadamente R\$ 529,70.

Assim como o valor do projeto para residências, neste valor a ser investido não estão incluídos os valores para ligação da tubulação nas residências, nem de trabalhos manuais para a implantação do sistema.

6 CONCLUSÃO

O principal objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de um sistema de aproveitamento de água da chuva que funcionasse de maneira autônoma, para atividades que não houvessem necessidade de água potável, informando ao usuário quando ele estaria utilizando água da chuva ou água da rede comum e fazendo a utilização de equipamentos de baixo custo.

Para isto, foi projetado um protótipo em menor escala deste sistema, onde pudesse fazer a simulação da captação da água da chuva, com controle de armazenamento, distribuição, e utilização da mesma.

Com o funcionamento do protótipo, foi possível observar que o principal objetivo deste estudo foi cumprido. O protótipo funcionou perfeitamente como o esperado, conseguindo atender a todos os objetivos específicos. E, como pôde ser observado em estudos na residência analisada, há um potencial de substituição de quase 15% de toda a água potável utilizada na residência por água da chuva.

É importante mencionar, porém, que foi possível desenvolver dois projetos deste sistema, onde um deles se torna muito mais vantajoso, em termos financeiros, que outro. Apesar de ambos utilizarem equipamentos de baixo custo, há uma diferença, em equipamentos, de R\$ 752,74 do projeto para residências já construídas, para residências que ainda serão construídas, sendo este segundo o mais barato.

Portanto, ambos projetos têm *paybacks* diferentes. Como pôde ser observado, na residência estudada, há um potencial de economia de até 15% da água utilizada pela rede comum, resultando em uma economia anual de R\$ 92,09.

Para o sistema para a residência já construída, levando em consideração apenas os equipamentos, e sem contar com valores de mão de obra, de tubulação e da estrutura para elevação do tanque de distribuição, o valor seria de aproximadamente R\$ 1.311,54. Com isso, este sistema teria um *payback* de aproximadamente 14 anos. Todos os equipamentos críticos para este sistema possuem vida útil maior que este período, portanto, em condições normais de utilização, o usuário ainda teria um potencial retorno financeiro do sistema. Porém, para este estudo, o maior foco é quanto a utilização da água da chuva como preservação do meio ambiente.

Já para o sistema para residências ainda não construídas, o valor do projeto cai consideravelmente. Devido a retirada de equipamentos, o valor do sistema cai para R\$ 529,70, mantendo a mesma economia de R\$ 92,09 anuais. Com isso, o *payback* do sistema vai para 6 anos, tornando-se um sistema muito mais viável de ser implantado. Além disso, como a residência ainda será construída, a implantação do mesmo será muito menos invasiva, reduzindo consideravelmente custos com mão de obra para instalação do mesmo.

Contudo, o protótipo se provou estável e realizou todas as atividades necessárias para utilização da água da chuva em uma residência. Com isso, o projeto concluído atendeu todos os objetivos descritos neste estudo.

6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Uma das dificuldades encontradas para este projeto foi quanto a escolha de componentes que tivessem um baixo custo e fácil acesso para montagem do protótipo em laboratório. Como foi um protótipo que visou o baixo custo, algumas alternativas, como utilização de peças formadas por impressão 3D, foram utilizadas como alternativas para peças que seriam confeccionadas manualmente, reduzindo o custo do projeto.

Outra dificuldade encontrada foi quanto a utilização do sensor ultrassônico HC-SR04 no reservatório. O sensor apresenta muito ruído e instabilidade, ainda que dentro do reservatório, e isso dificultou a obtenção de resultados nos primeiros testes. Esse ruído foi controlado a partir de um artifício matemático para exibição em tempo real da média de 50 valores lidos pelo sensor. Isso fez com que a instabilidade fosse diminuída e o resultado fosse mais aproximado ao real.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Conforme visto, por utilizar a água da chuva sem nenhum tratamento, o potencial de substituição da água da rede comum por água da chuva é de 15%. Um trabalho futuro para melhora deste sistema seria o tratamento da água para que ela passe a ser potável, e possa ser utilizada em toda a rede. Isso tornaria o projeto

simplificado tanto para residências já construídas quanto para residências ainda a serem construídas, fazendo com que o usuário passe a utilizar ainda menos água da rede comum, trazendo uma economia muito maior ao fim do mês. Na residência analisada, há um potencial de substituição de 80% de toda a água que é utilizada na casa por água da chuva, caso a mesma seja potável.

Outro ponto que pode vir como melhoria em um trabalho futuro seria o ponto de comunicação do usuário com o sistema. Trazendo um sistema supervisorio mais robusto, é possível a implementação de um aplicativo *mobile*, onde o usuário poderia ter a informação disponível em seu celular tanto da disponibilidade da água da chuva para sua residência, facilitando assim o acesso a essa informação em múltiplas localizações da residência, não mais somente no display.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRAIS, Alysson K. Dos S.; MONTEIRO, Felipe S.; SARDINHA, Aline S.. **PLANO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM DOMICÍLIO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PA: ESTUDO DE CASO**. 28p. Marabá, 2015.

BARBOSA, Bruno M. P.. **Sistema de Supervisão Inteligente no Intouch para Automação Multimalhas da Bancada NVPT**. 93p. Dissertação (Graduação). Departamento de Engenharia Controle e Automação, Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, 2016.

CALDAS FILHO, Josué A.. **SISTEMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE FLUXO DE ÁGUA EM RESIDÊNCIAS VIA TECNOLOGIA ZIGBEE**. 54p. Dissertação (Graduação). Departamento de Engenharia Controle e Automação, Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, 2017.

CASTRUCCI, Plínio de Lauro; BITTAR, Anselmo; SALES, Roberto Moura. **Controle Automático**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

EMBARCADOS. **Arduino e Scadabr**. 2018. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-e-scadabr/>. Acesso em: 10 set. 2018.

FILIPEFLOP. **Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>. Acesso em: 15 mai. 2019.

FILIPEFLOP. **Módulo Relé 5V 8 Canais**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-8-canais/>. Acesso em: 15 mai. 2019.

GROOVER, Mikell. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

INDUSTRIA HOJE. **O que é e como funciona uma bomba hidráulica?**. Disponível em: <<https://www.industriahoje.com.br/o-que-e-e-como-funciona-uma-bomba-hidraulica>>. Acesso: 29 set. 2018.

INSTITUTO NEWTON BRAGA. **Todos os tipos de sensores (ART1158)**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/9875-todos-os-tipos-de-sensores-art1158>>. Acesso: 28 set. 2018.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 159p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

MCROBERTS, Michael. **Arduíno Básico**. 2ed. São Paulo: Novatec, 2015.

MECANICA INDUSTRIAL. **Tipos de bombas hidráulicas**. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/135-tipos-de-bombas-hidraulicas/>>. Acesso: 30 set. 2018.

MERITO COMERCIAL. **Bomba para Piscina Centrífuga Syllent Aqquant Pf63e0312as 1/3 Cv Monofásico 220V com Pré-filtro**. Disponível em: <<https://www.meritocomercial.com.br/bomba-para-piscina-centrifuga-syllent-aqquant-pf63e0312as-1-3-cv-monofasico-220v-com-pre-filtro-p1029419>>. Acesso: 17 mai. 19.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Água: um recurso cada vez mais ameaçado**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf>. Acesso: 25 set. 2018.

SCHNEIDER ELECTRIC. OsiSense XX - XX930A1A1M12. Disponível em: <<https://www.se.com/br/pt/product/XX930A1A1M12/sensor-ultrassonico-d30-0-10v-1m/>>. Acesso: 28 out. 2018.

SCHNEIDER ELECTRIC. Twido – Programmable Controller – TWDLCAE40DRF. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.us/en/product/TWDLCAE40DRF/compact-plc-base-twido---100..240-v-ac-supply---24-i-24-v-dc---16-o/>>. Acesso: 28 out. 2018.

SILVA, Mária de Souza. **DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA BANCADA DE TESTE DE LABORATÓRIO, DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE NÍVEL, TEMPERATURA E VAZÃO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL SIMULADO**. 70p. Dissertação (Graduação). Departamento de Engenharia Controle e Automação, Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, 2016.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Curso de Controladores Lógicos Programáveis**. Apostila do Laboratório de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da UERJ, Rio de Janeiro, s.d.

VESENTINI, José William. **Geografia: o mundo em transição: Geografia Geral: Conceitos Principais**. Vol 1. São Paulo: Ática.

VILLIERS, M.. **Água: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

VOLPATO, Neri. et al. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher: 2017.

ZAENELLA, Luciano. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**. São Paulo, 28p. 2015. Disponível em: <www.ipt.br/manual_aguadechuva>. Acesso: 30 set. 18.

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO

```
//Carregar as bibliotecas
#include <LiquidCrystal.h> //Display LCD
#include <Ultrasonic.h> //Sensor Ultrassonico
```

```
LiquidCrystal lcd(12,11, 5, 4, 3, 2);
```

```
//Definir Pinos e variáveis
int pinoBoiaSuperior = 53;
int pinoBoiaInferior = 49;
int BoiaSuperior;
int BoiaInferior;
int pinoBoia3 = 33;
int Boia3;
int Nivel;
int estadoSistema;
int pinoRele = 45;
int pinoRele2 = 41;
int ativarele2 = 0;
int reiniciaciclo = 0;
int niveltanque = 0;
int push;
int pushbutton = 37;
#define trigger 6
#define echo 7
Ultrasonic ultrasonic(trigger, echo);
float distanciaCm;
```

```
//Programa para leitura do tanque de distribuicao
void LeituraTanque(){
    BoiaSuperior = digitalRead(pinoBoiaSuperior);
    BoiaInferior = digitalRead(pinoBoiaInferior);
    if((BoiaSuperior == 1) && (BoiaInferior == 0)){ //Bóias desativadas - tanque vazio
        Nivel = 0; //Nível vazio
    } else if ((BoiaSuperior == 1) && (BoiaInferior == 1)){ //Bóia inferior ativada e bóia
superior desativada - Tanque pela metade
        Nivel = 1; //Nível meio
    } else if ((BoiaSuperior == 0) && (BoiaInferior == 1)){ //Bóias ativadas - tanque cheio
        Nivel = 2; //Nível cheio
    }
    AcionamentoBomba();
}
}
```

```
//Programa para acionamento da bomba
void AcionamentoBomba() {
    if (distanciaCm < 21) {
        if ((Nivel == 0) && (estadoSistema == 0)) {
            estadoSistema = 0; //Coloca no estado 0 - enchendo
        } else if ((Nivel == 2) && (estadoSistema == 0)) {
            estadoSistema = 1; //Coloca no estado 1 - esvaziando
        } else if ((Nivel == 0) && (estadoSistema == 1)) {
            estadoSistema = 0; //Coloca no Status enchendo
        }
        else if (distanciaCm > 21) {
            estadoSistema = 1;
        }
    }
    if (estadoSistema == 0) {
        digitalWrite(pinoRele,HIGH); //Aciona a Bomba1
    } else if (estadoSistema == 1) {
        digitalWrite(pinoRele,LOW); //Desativa a Bomba
    }
}
}
```

```

long tempoinicial = 0;

//Programa para acionamento da bomba 2
//Programa para acionamento da bomba 2
void AcionamentoDaBomba2() {
  push = digitalRead(pushbutton);
  Boia3 = digitalRead(pinoBoia3);
  if (Boia3 == 1) {
    if (push == HIGH) {
      ativarele2 = 1;
    }
  }

}

if (ativarele2 == 1) {
  digitalWrite(pinoRele2,HIGH);

} else if (ativarele2 == 0) {
  digitalWrite(pinoRele2,LOW);
}
}

//Programa para leitura do sensor ultrassonico
void LeituradoSensorUlt(){
  long microsec = ultrasonic.timing();
  distanciaCm=0;
  for (int i=0;i<50;i++){
    distanciaCm = distanciaCm + ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
  }
  //Converte a distância em centímetros
  }
  distanciaCm= distanciaCm/50;
  //distanciaCm = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM); //Converte a distância
  em centímetros

```

```
}
```

```
//Programa para o Display:
```

```
void Display() {  
  niveltanque = map(distanciaCm, 22.5, 0, 0, 10);
```

```
  lcd.clear();
```

```
  lcd.setCursor(0,0);
```

```
  lcd.print("Nivel do Tanque:");
```

```
  lcd.setCursor(0,1);
```

```
  lcd.print("A:");
```

```
  lcd.setCursor(2,1);
```

```
  lcd.print(niveltanque);
```

```
  lcd.setCursor(5,1);
```

```
  lcd.print("L");
```

```
  lcd.setCursor(7,1);
```

```
  lcd.print("B:");
```

```
  lcd.setCursor(9,1);
```

```
  if (Nivel == 0) {
```

```
    lcd.print("vazio");
```

```
  } else if (Nivel == 1) {
```

```
    lcd.print("meio");
```

```
  } else if (Nivel == 2) {
```

```
    lcd.print("cheio");
```

```
  }
```

```
  delay(500);
```

```
}
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(pinoBoiaSuperior,INPUT);
```

```
  pinMode(pinoBoiaInferior,INPUT);
```

```
  pinMode(pinoBoia3,INPUT);
```

```
  pinMode(trigger,OUTPUT);
```

```
digitalWrite(trigger,LOW);
pinMode(echo,INPUT);
pinMode(pinoRele,OUTPUT);
pinMode(pinoRele2,OUTPUT);
lcd.begin(16,2);
lcd.clear();
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("Ligando");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print("Sistema");
delay(5000);
estadoSistema = 1;

}

void loop() {
  LeituraTanque();
  LeituradoSensorUlt();
  AcionamentoBomba();
  AcionamentodaBomba2();
  Display();
  Serial.print(Nivel);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(BoiaInferior);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(BoiaSuperior);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(distanciaCm);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(niveltanque);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(pinoRele);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(estadoSistema); }
```