



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

KAUANN JACOME DE OLIVEIRA

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DAS CHUVAS
PARA USO DOMÉSTICO E IRRIGAÇÃO**

PAU DOS FERROS-RN

2019

KAUANN JACOME DE OLIVEIRA

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DAS CHUVAS
PARA USO DOMÉSTICO E IRRIGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Pedro Thiago Valério de
Souza

PAU DOS FERROS-RN

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

O48s Oliveira, Kauann Jacome de. Sistema automático de aproveitamento de águas das chuvas para uso doméstico e irrigação / Kauann Jacome de Oliveira. - 2019. 50 f. : il.

Orientador: Pedro Thiago Valério de Souza Souza. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2019.

1. Automação residencial. 2. microcontroladores. 3. sistemas automáticos. 4. sistemas embarcados. 5. reaproveitamento de águas. I. Souza, Pedro Thiago Valério de Souza, orient. II. Título.

Bibliotecário-Documentalista

Nome do profissional, Bib. Erlanda Maria Lopes da Silva (CRB-15/10.000)

KAUANN JACOME DE OLIVEIRA

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DAS CHUVAS
PARA USO DOMÉSTICO E IRRIGAÇÃO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 22 / 03 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Pedro Thiago Valério de Souza
Pedro Thiago Valério de Souza, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente

Adler de Oliveira Guimarães
Adler de Oliveira Guimarães, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Cecílio Martins de Sousa Neto
Cecílio Martins de Sousa Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pelo dom da vida, por estar sempre me guiando ao longo desse caminho.

Em especial ao meu orientador, o Professor Pedro Thiago Valério de Souza, pela constante orientação, incentivo e paciência.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, pelo interesse e a disponibilidade.

Por fim a minha família, ao meu pai Francisco Antônio de Oliveira e à minha mãe Calina Ligia Jacome de oliveira, sempre me ensinaram a importância e o valor do conhecimento, e não mediram esforços realizar todos meus esforços.

RESUMO

Este trabalho apresenta um protótipo de automação com baixo custo para sistemas de aproveitamento da água da chuva, bem como a sua utilização para um sistema de irrigação doméstico com interface homem-máquina. O sistema projetado é implementado com um micro controlador ATmega 328p, utilizado na placa arduino uma plataforma de prototipagem. Como resultados são apresentados as cartas de tempo para as regras de controle automático e de modo a comprovar a veracidade do sistema proposto, onde foi confeccionada uma maquete de madeira compensada e contar também com uma central de controle onde a interface homem-máquina (IHM) possibilitando a interação do usuário com todo o sistema, possibilitando o controle manual do sistema. Diante desses resultados, é possível contribuir com o meio ambiente ao se reduzir a utilização de água potável para fins menos nobres, consequentemente contribuir para a redução de gastos e para a diminuição no acúmulo nas áreas urbanas, evitando assim o risco com enchentes.

Palavras-chave: Automação residencial, microcontroladores, sistemas automáticos, sistemas embarcados, reaproveitamento de águas.

ABSTRACT

This work presents a low cost automation prototype for rainwater harvesting systems as well as its use for a household irrigation system with a man-machine interface. The designed system is implemented with a 328p ATmega micro controller, used in arduino boards a prototyping platform. As results are presented the time charts for the automatic control rules and in order to prove the veracity of the proposed system, where a plywood model was made and also have a control center where the human-machine interface (HMI) allowing the user to interact with the whole system, allowing manual control of the system. Given these results, it is possible to contribute to the environment by reducing the use of drinking water for less noble purposes, thus contributing to the reduction of expenses and to the reduction of accumulation in urban areas, thus avoiding the risk with floods.

Keywords: Home automation, microcontrollers, automatic systems, embedded systems, water reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	–	Diagrama do sistema proposto.....	13
Figura 2.2	–	Diagrama de blocos do sistema projetado.....	16
Figura 2.3	–	Sensor de Nível utilizado neste trabalho.....	17
Figura 2.4	–	Esquema de ligação do resistor de abaixamento.....	18
Figura 2.5	–	Corte lateral de uma válvula solenoide.....	19
Figura 2.6	–	Válvula solenoide utilizada no projeto.....	20
Figura 2.7	–	Sensor de umidade do solo.....	20
Figura 2.8	–	Sensor de presença de chuva.....	21
Figura 2.9	–	Bomba utilizada no projeto.....	22
Figura 2.10	–	Módulo relé de 8 canais.....	23
Figura 2.11	–	<i>display</i> de cristal líquido LCD 16x2.....	23
Figura 2.12	–	Botões.....	24
Figura 2.13	–	Máquina de Estados para controle da válvula V1.....	24
Figura 2.14	–	Máquina de Estados para controle do motor M1.....	25
Figura 2.15	–	Máquina de Estados para controle da válvula V2.....	26
Figura 2.16	–	Máquina de Estados Finito para Válvula V3.....	27
Figura 2.17	–	Interface homem-máquina utilizada no trabalho.....	29
Figura 3.1	–	Carta de tempo para o controle automático da válvula 1.....	31
Figura 3.2	–	Carta de tempo para o controle automático do motor 1.....	32
Figura 3.3	–	Carta de tempo para o controle automático da válvula V2.....	33
Figura 3.4	–	Carta de tempo para o controle automático da válvula V.....	34
Figura 3.5	–	Carta de tempo para o controle automático do motor M2.....	35
Figura 3.6	–	Simulação do sistema.....	35
Figura 3.7	–	Fonte estabilizada de 12V utilizada na maquete.....	37
Figura 3.8	–	Mensagem de apresentada pelo sistema quando a chuva começa.....	39
Figura 3.9	–	Mensagem de erro acusada quando deseja-se ligar o motor 1 quando o reservatório B está completamente cheio.....	39
Figura 3.10	–	Mensagem de erro acusada quando deseja-se ligar o motor 1 quando o reservatório B está completamente cheio.....	40
Figura 3.11	–	Mensagem de erro acusada quando deseja-se ligar o motor 1 quando o reservatório A está completamente vazio.....	40

	Mensagem de erro acusada quando deseja-se liberar a irrigação quando o reservatório B está completamente vazio.....	41
Figura 3.12 –	Mensagem de erro acusada quando uma leitura incorreta dos sensores é realizada.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	–	Especificações do Microcontrolador ATmega 328p.....	16
Tabela 2.2	–	Regras de Determinação de H1 e H0.....	26
Tabela 2.3	–	Conexão do arduino.....	36
Tabela 3.2	–	Preços do sistema projetado.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IHM	Interação Homem-Máquina
ONU	Organização das Nações Unidas
PWM	Pulse Width Modulation
LCD	Liquid Crystal Display
LVP	Low Voltage Probe
UNESCO	A Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USB	Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	12
1.1 – Justificativa.....	13
1.2 – Objetivos.....	14
1.2.1 - Objetivo geral.....	14
1.2.2 - Objetivos específicos.....	14
1.3 – Organização do texto	14
2 - SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PROPOSTO.....	14
2.1 – Modelo geral do sistema.....	15
2.2 – Materiais e métodos.....	18
2.2.1 – Unidade de controle.....	18
2.2.2 – Sensores de nível	20
2.2.3 – Válvula solenoide	21
2.2.4 – Sensor de umidade do solo	22
2.2.5 – Sensor de chuva	23
2.2.6 - Bomba de acionamento	24
2.2.7 – Acionamento por relés.....	24
2.2.8 Display LCD.....	25
2.2.9 Botões	26
2.3 – Regras de controle automático	26
2.3.1 – Regra de controle para a válvula V1	26
2.3.2 – Regra de controle para o motor M1	28
2.3.3 – Regra de controle para a válvula V2	29
2.3.4 – Regra de controle para a válvula V3	30
2.4 – Regras de controle manual	31
2.5 – Tratamento das leituras dos sensores.....	32
2.6 – Interface homem-máquina (IHM)	32
3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
3.1 – Resultados de simulação.....	34
3.1.1 – Simulação para o controle da válvula V1	34

3.1.2 – Simulação para o controle do motor M1	35
3.1.3 – Simulação para o controle da válvula V2	36
3.1.4 - Simulação para o controle da válvula V3	36
3.2 – Elaboração da maquete do sistema	37
3.3 – Testes práticos na maquete	40
3.3.1 – Análise prática das regras de controle automático	41
3.3.2 – Análise prática das regras de controle manual	42
3.4 – Aspectos práticos na instalação do sistema	44
3.5 – Análise de Preços	45
4 - CONCLUSÕES	47
 ANEXO A – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA IMPLEMENTADO	 50

1 - INTRODUÇÃO

A água é uma substância com o valor imensurável para a sobrevivência de toda a vida presente na terra. Segundo Grassi (2001) de todo recuso hídrico disponível no planeta, 97,5% está na forma salgada, portanto indisponível para o consumo humano. Desta forma existe apenas 2,5% de água doce, nos quais 2/3 deste percentual estão acumuladas nas calotas polares e geleiras, sendo assim de difícil acesso, restando apenas cerca de 0,77% disponível para o nosso consumo.

Apesar do Brasil apresentar uma abundante disponibilidade de recursos hídricos, contendo cerca de 12% de todo recurso hídrico da terra (ANA ,2018), este recurso encontra-se distribuído de forma heterogêneo, havendo desequilíbrio entre oferta e demanda. A escassez dessa substancia poderá alcançar inclusive regiões com abundância desse recurso, devido a contaminação dos aquíferos e a falta de obras de saneamento básico para a coleta e tratamento de esgotos (DINIZ JÚNIOR,2016).

É notório que a distribuição desse liquido propícia para o consumo é bastante irregular no planeta terra. Levando em consideração também o crescente consumo deste bem, pode-se dizer que estes fatores são os principais problemas para a sua escassez, hoje no mundo. Se fala no aumento do consumo, adentramos em um fator importantíssimo para esta elevação, que é o desperdício. Segundo a ONU (2019) volume de água doce desperdiçada em 2016 equivale a 7 mil piscinas olímpicas por dia, antes de chegar ao consumidor final.

De acordo com a ONU (2018) a crise hídrica pode atingir 40% da população da Terra em 2030. Diante disso, a necessidade de criar métodos de aproveitamento dos recursos hídricos e de reduzir o consumo de água potável em uma residência.

Visando solucionar o problema da escassez do recurso hídrico, uma proposta que vem ganhando muita notoriedade, principalmente em ambiente urbanos, consiste no aproveitamento de pluviométrico (UNESCO) (ONU,2016). Nesse caso, seria utilizada em fins não-potáveis, como irrigação e para lavar pisos. O objetivo consiste em diminuir o uso potável, que seria utilizada apenas para os fins no qual ela é estritamente necessária.

Rodrigues (2011) afirma que a utilização dos recursos pluviais tem sido desenvolvida por diferentes civilizações ao longo das eras. Ainda segundo ela, existem evidências de que havia sistemas de reaproveitamento das chuvas há mais de 2.000 anos, localizados no Oriente Médio, Europa e no deserto de Negev, atualmente território de Israel.

De acordo com Bazzarella, (2005), Um sistema de aproveitamento da chuva consiste em três etapas: captura, armazenamento e distribuição. O sistema de captura funciona captando

a chuva por calhas. Esse sistema deve considerar que pode conter impurezas sólidas. Dessa forma, depois captura é levada para um filtro, eliminando partículas sólidas. Além disso, é comum que os primeiros minutos dessa substância sejam descartados. O sistema de armazenamento consiste em uma cisterna, localizada, geralmente, no piso inferior ou no subsolo da residência. Por fim, o sistema de distribuição é composto por um reservatório superior e uma bomba de decalque. A bomba de decalque bombeia a água para um reservatório superior, para que essa possa ser utilizada.

O sistema de armazenamento de água deve ser gerenciado por algum mecanismo de controle e automação. Esse mecanismo controla os níveis dos diversos reservatórios, de modo a o máximo aproveitamento do recurso hídrico.

A água reaproveitada pode ser utilizada para diversos fins. Um dos fins possíveis para essa água consiste na irrigação de plantações. Segundo a ANA (2019) a agricultura irrigada é a atividade que mais consome água no Brasil e no mundo. Devido a isso, existe uma grande importância no uso de técnica da irrigação mais eficientes, de forma que a água possa ser utilizada de forma mais otimizada, sem perdas.

Diante disso, neste trabalho, tem-se como objetivo projetar um sistema automático para reaproveitamento de águas das chuvas, bem como a integração com um sistema de irrigação doméstico. O sistema desenvolvido contará com uma interface homem-máquina (IHM), possibilitando a interação do usuário com todo o sistema, de forma a otimizar o uso da água potável e não potável. Associado a esse sistema, será desenvolvido um sistema de irrigação automático, que utiliza a água reaproveitada, visando diminuir os gastos e desperdícios.

1.1 – Justificativa

O interesse do presente estudo dar-se devido a necessidade de criar métodos de aproveitamento dos recursos hídricos proveniente das chuvas. Busca-se com o projeto, reduzir o consumo de água potável em uma residência, bem como promover uma melhor utilização dos recursos hídricos disponíveis, tal como implementar a interface homem-máquina (IHM), bem como um sistema de irrigação automático, que fornece a quantidade ideal de água para a irrigação sem intervenção humana.

1.2 – Objetivos

1.2.1 - Objetivo geral

- Propor um sistema automático irrigação, com interface homem-máquina, a parti do aproveitamento da agua de chuva.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Propor um sistema de irrigação que utilize água reaproveitada;
- O funcionamento interface homem-máquina;
- Montar a maquete do sistema, de forma a validar o sistema proposto;

1.3 – Organização do texto

Esse trabalho está organizado em quatro capítulos e um anexo, detalhados a seguir.

No Capítulo 2 apresenta-se o modelo de sistema projetado. Nesse capítulo apresenta-se o diagrama geral do sistema, os materiais e métodos utilizados, as regras de controle empregadas e a interface homem-máquina projetada.

No Capítulo 3 apresenta-se alguns resultados obtidos para o sistema projetado. São apresentados alguns diagramas de temporização e resultados práticos, bem como é feita uma discussão acerca dos custos na implementação do sistema.

No Capítulo 4 realiza-se algumas conclusões acerca do trabalho, bem como apresenta-se alguns trabalhos futuros possíveis.

No Anexo A apresenta-se o diagrama esquemático do sistema projetado.

2 - SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PROPOSTO

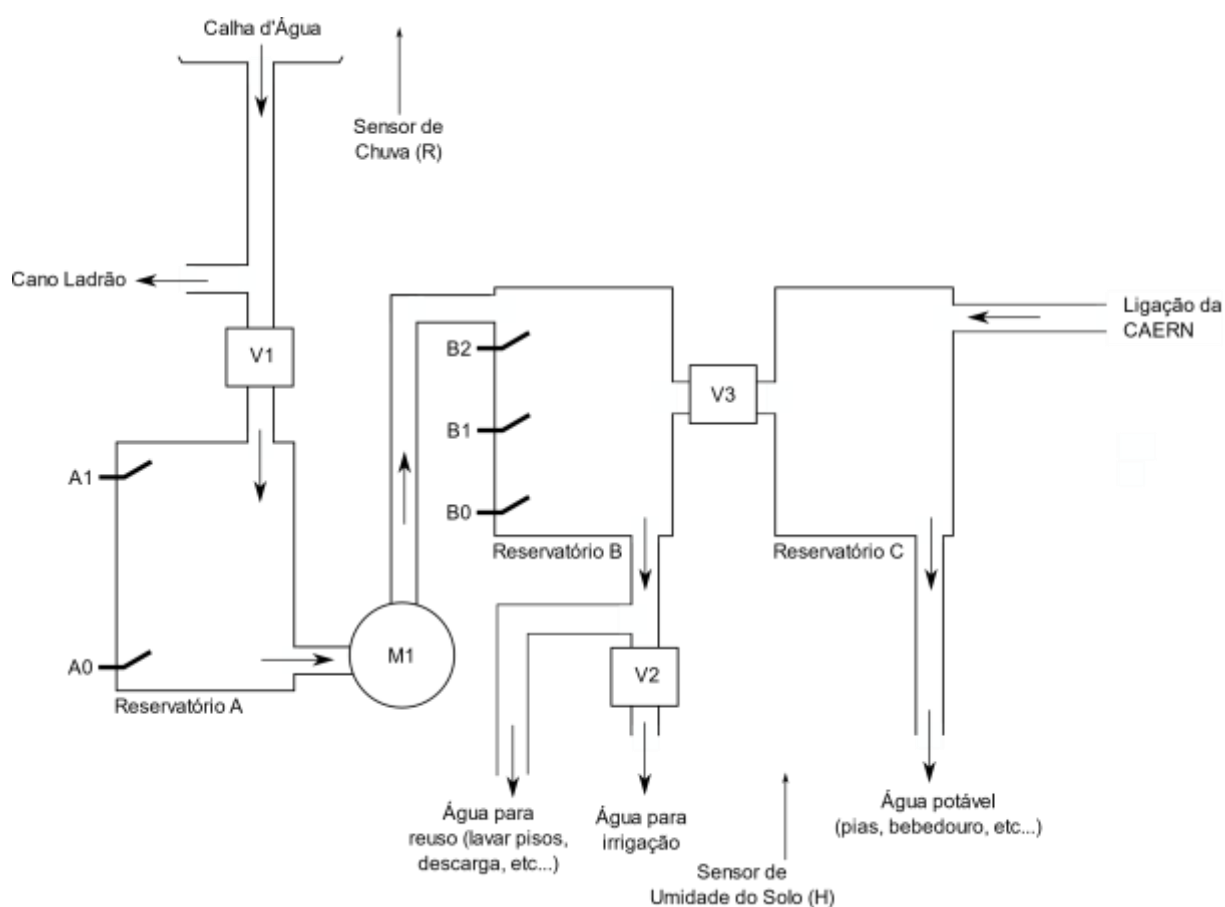
Nesse capítulo apresenta-se o modelo de sistema proposto. Inicialmente o modelo geral de sistema. Em seguir os materiais e métodos que foram utilizados para a construção desse

sistema. Após isso, detalha-se as regras de controle automático e a interface homem-máquina utilizada no projeto.

2.1 – Modelo geral do sistema

O diagrama de sistema proposto neste trabalho é apresentado na Figura 2.1 a seguir, sendo composto pelos seguintes componentes:

Figura 2.1 – Diagrama do sistema proposto.



Fonte: Adaptada de Brazil, (2018)

- **Reservatório A:** Esse reservatório é destinado a captação das águas da chuva. Esse reservatório deve ser esta inferior em um nível de altura inferior a calha de água, de forma que a captação possa ser feita pelo efeito da gravidade;
- **Reservatório B:** Esse reservatório superior armazena a água destinada para fins não potáveis. A água desse reservatório pode ser utilizada para vários propósitos (lavagem

de pisos, descargas, etc.). Neste trabalho, esta água é utilizada com fonte para um sistema de irrigação doméstico;

- **Reservatório C:** É destinado ao armazenamento da água potável, advinda do sistema de distribuição de água (no estado do Rio Grande do Norte, no caso, da CAERN).
- **Válvula solenoide 1 (V1):** Tem como objetivo permitir (ou não) a passagem de água da chuva para o reservatório A. Nesse caso, o objetivo dessa válvula é descartar a primeira água da chuva, que geralmente possui impurezas sólidas, que podem prejudicar o perfeito funcionamento do sistema. Além disso, essa válvula normalmente estará fechada, de forma que impurezas não penetrem no reservatório A.
- **Válvula solenoide 2 (V2):** Libera a passagem de água para o sistema automático de irrigação. Nesse caso, a água é liberada via efeito da gravidade, e, portanto, não necessita de bombeamento para chegar ao sistema de irrigação;
- **Válvula solenoide 3 (V3):** Permite a passagem de água potável do reservatório C para o reservatório B, na situação de ausência de chuvas. O objetivo é que o reservatório B nunca fique vazio, mesmo em períodos prolongados de seca. Como a válvula permite apenas a passagem unidirecional da água, ocorre o fluxo apenas do reservatório C para o reservatório B (e nunca o inverso).
- **Motor de bombeamento 1 (M1):** Que bombeia a água do reservatório A para o reservatório B;
- **Sensor de nível A1:** Que determina o nível máximo permitido para o reservatório A. Se esse sensor acusar que o reservatório A está completamente cheio, toda e qualquer água da chuva é descartada pelo cano ladrão;
- **Sensor de nível A0:** Responsável por determina o nível mínimo para o reservatório A. É necessário que esse sensor acuse que há um nível mínimo no reservatório A (i.e. o reservatório A não está completamente vazio) de forma que o motor M1 possa ser acionado. Dessa forma o sensor A0 funciona como uma proteção para o motor não operar em vazio;
- **Sensor de nível B2:** Demarca o nível máximo para o reservatório B. O reservatório B nunca será enchido com água caso esse sensor acuse o nível máximo.
- **Sensor de nível B1:** Demarca o nível máximo de água permitido ao reservatório B, caso este seja enchido através do reservatório C. Dessa forma, o reservatório B será enchido até o nível indicado por B1, na ausência de chuvas.

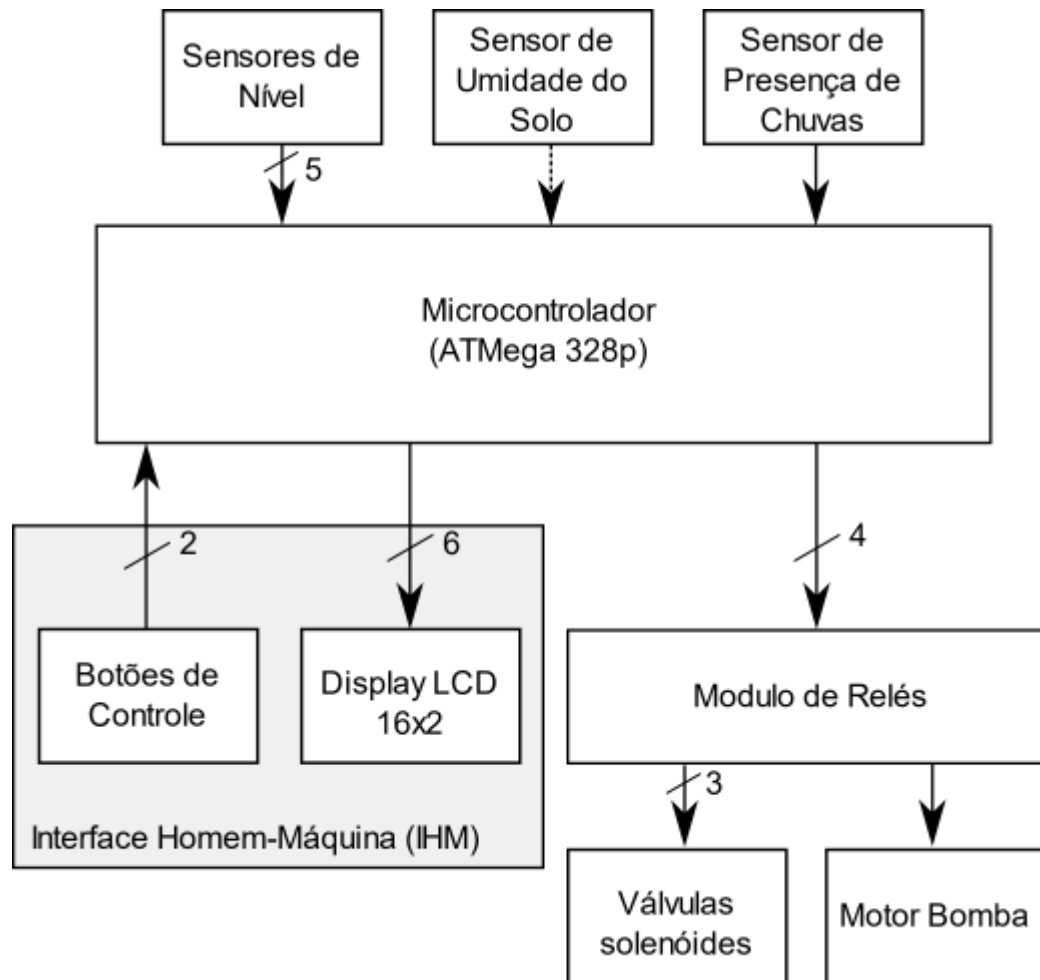
- **Sensor de nível B0:** Demarca o nível mínimo permitido ao reservatório B. Caso o sensor acuse que o reservatório B está em seu nível mínimo, o reservatório B é enchido com, prioritariamente, a água da chuva armazenado no reservatório A. Caso o reservatório A estiver vazio, o reservatório B é enchido com água potável (do reservatório C);
- **Sensor de chuva (R):** Indica a presença ou ausência de chuvas. Nesse caso, quando há chuvas, a válvula V1 é acionada após um certo período de tempo, realizando o descarte das primeiras água de chuva;
- **Sensor de umidade do solo (H):** Tem como objetivo determinar se o solo a ser irrigado está seco ou úmido;
- **Calha d'água:** Serve para recolher a água das chuvas;
- **Cano ladrão (ou de suspiro):** Esse cano serve para descartar a água em excesso ou a água dos primeiros minutos de chuva.

Neste trabalho, implementou-se um sistema de controle, utilizando um microcontrolador ATmega 328p de forma a automatizar o diagrama de sistema proposto na Figura 2.1.

Neste caso, o sistema de automação deve, a partir da leitura dos sensores de nível, umidade do solo e de presença de chuvas, controlar o funcionamento das válvulas solenoides e do motor de bombeamento de forma a maximizar a utilização da água das chuvas. Além disso, deve-se apresentar as informações mais relevantes para a operação do sistema em um Display LCD, tal como o estado do motor e das válvulas. Por fim, o sistema proposto deve permitir que o usuário alterne entre o controle automático ou manual das operações.

O diagrama resumido do sistema de automação proposto neste texto é apresentado na a parte em cinza representa a contribuição do presente trabalho, Figura 2.2.

Figura 2.2 – Diagrama de blocos do sistema projetado.



Fonte: Autoria Própria (2019).

2.2 – Materiais e métodos

Nas subseções a seguir, detalha-se os materiais e métodos que foram utilizados para implementar o modelo geral de sistema apresentado na seção anterior.

2.2.1 – Unidade de controle

Nesse trabalho utilizou-se como unidade de controle um Microcontrolador ATMega 328p. As especificações do microcontrolador são apresentadas na Tabela 2.1 a seguir.

Tabela 2.1 - Especificações do Microcontrolador ATMega 328p

Especificação	Valor
---------------	-------

Pinos de E/S	23
Memória Flash	32kiB
Memória SRAM	2kiB
Memória EEPROM	1kiB
Tipo de CPU	AVR de 8-bits
Frequência máxima do relógio	20 MHZ
Performance	20MIPS em 20MHz
Interrupções externas	2
Interface USB	N/A
Comunicação com periféricos	1-UART, 2-SPI, 1-I2C
Módulo CCP (Capture, Compare, PWM)	1 Módulo de Captura, 1 Módulo de Comparação, 6 PWM
Temporizadores	2 x 8-bit, 1 x 16-bit
Tensão de Operação	1.8V até 5.5V
Funcionalidades	ICSP ¹ , Brownout Detector, Powerup timer, WDT ² , LVP ³
Conversores Analógico-Digital	6 (10-bits)

Fonte: MCROBERTS, 2008.

Neste trabalho utilizou-se o Arduino Uno como plataforma de desenvolvimento, consiste em uma plataforma de prototipagem em eletrônica, utilizando o Microcontrolador ATmega 328p, que tem como o objetivo facilitar o desenvolvimento de projetos de sistemas embarcados (MCROBERTS, 2008). Os principais motivos para utilização como plataforma de desenvolvimento nesse trabalho são (MCROBERTS, 2008):

- Preço acessível do *Hardware*, além deste ser facilmente encontrado no mercado Brasileiro;
- Um sistema completo de plataforma, englobando circuitos de alimentação e gravação do microcontrolador, diminuindo gastos adicionais na prototipagem do sistema;
- A facilidade de implementação dos protótipos do sistema;

¹ In Circuit Serial Programming

² Watchdog timer

³ Low-Voltage Programming

- A quantidade de recursos disponíveis pela plataforma, como uma interface de comunicação serial com o computador e circuitos geradores de relógio.

2.2.2 – Sensores de nível

O sensor de nível tem como objetivo detectar o nível de líquidos em reservatórios. O funcionamento do sensor pode ser explicado através do movimento dos flutuadores, em conjunto com um contato elétrico encapsulado, gera um sinal digital, indicando se o nível demarcado pelo sensor em questão foi ou não atingido. A Figura 2.3 apresenta o sensor de nível utilizado neste trabalho.

Figura 2.3 – Sensor de Nível utilizado neste trabalho.



Fonte: Autoria Própria (2019).

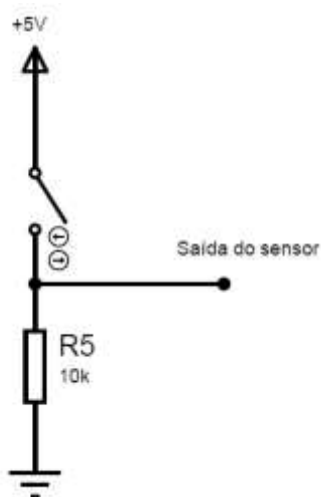
O sensor de nível pode ser entendido como uma chave digital e pode ser ligada na configuração normalmente aberta ou normalmente fechada (BRASIL, 2018). Neste trabalho utilizou-se a configuração normalmente aberta. Nesse caso quando a água atinge o nível marcado pelo sensor, este se comporta como uma chave fechada. Caso contrário, o sensor comporta-se como uma chave aberta.

Um aspecto importante a ser ressaltado na utilização do sensor de nível é que como este se comporta como uma chave digital, deve-se associar ao sensor um resistor de elevação (*pull-up*) ou de abaixamento (*pull-down*), de forma a manter um nível lógico constante quando o sensor encontra-se em aberto (BOYLESTAD & NASHELSKY, 2015). Neste trabalho utilizou-se a ligação em modo abaixamento, conforme apresentado na Figura 2.4.

Considerando o modo de ligação do sensor (normalmente aberto) e como foi realizada a ligação do resistor (modo *pull-down*), quando a água encontra-se no nível demarcado no sensor,

a saída deste está em nível lógico ALTO. Todavia, quando a água encontra-se abaixo do nível demarcado pelo sensor, a saída deste está em nível lógico BAIXO.

Figura 2.4 – Esquema de ligação do resistor de abaixamento.



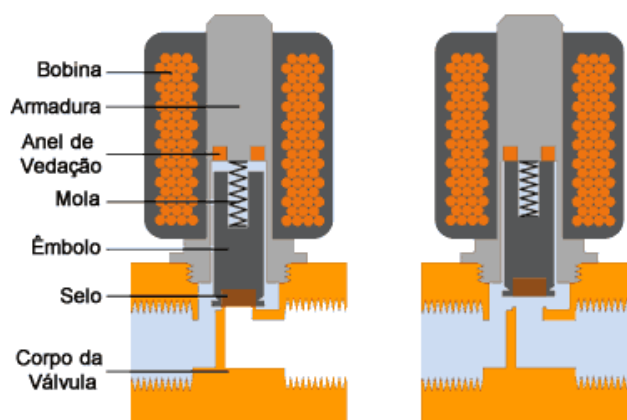
Fonte: Autoria própria (2019).

2.2.3 – Válvula solenoide

A válvula solenoide é um tipo de válvula eletromecânica controlada que permite a passagem de fluido quando está ativa. Este tipo de dispositivo possui muitas aplicações como refrigeração, ar condicionado, automóveis, hidráulica, pneumática e etc.

Pode ser entendida como a junção de dois elementos funcionais: a seção eletromagnética, constituído por uma bobina solenoide e o êmbolo da válvula, conforme apresentado na Figura 2.5. Quando uma corrente elétrica passa pelos terminais da bobina solenoide, gera-se um campo magnético, fazendo com que o êmbolo da válvula seja acionado, criando assim o sistema de abertura ou fechamento. Quando ocorre a interrupção de energia, o êmbolo volta para sua uma posição inicial com o advento da energia elástica da mola de retorno.

Figura 2.5 – Corte lateral de uma válvula solenoide.



Fonte: citisystems, (2019).

As válvulas solenoides podem ser normalmente abertas ou normalmente fechadas (BRASIL, 2018). No primeiro caso, sem a energização da bobina solenoide, permite a passagem do líquido. Já no segundo caso, bloqueará a passagem de líquido quando a bobina não está energizada. Nesse trabalho utilizou-se uma normalmente fechada. Essa escolha não é arbitrária, dado que quando ocorrer uma falta de energia no sistema, deve-se bloquear a passagem de água sobre as válvulas, de forma a não liberar a água para o sistema de irrigação ou permitir a captura de água da chuva. Além disso, as válvulas normalmente fechadas permitem um menor consumo de corrente para o sistema projetado.

A válvula solenoide utilizada no trabalho é apresentada na Figura 2.6. Essa válvula funciona com tensão alternada de 220V, é normalmente fechada e possui vazão máxima de 40 l/min.

Figura 2.6 – Válvula solenoide utilizada no projeto.

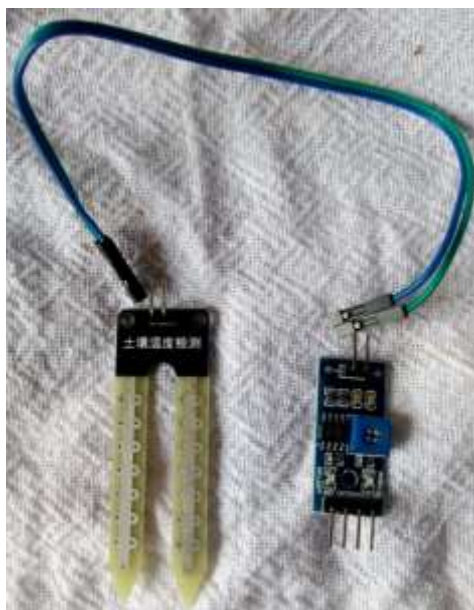


Fonte: Autoria própria (2019).

2.2.4 – Sensor de umidade do solo

O sensor de umidade do solo utilizado nesse trabalho é apresentado na Figura 2.7. É composto por duas sondas, que é capaz de medir a umidade do solo através da aferição da corrente entre as sondas. Sabe-se que solos secos apresentam alta resistividade, ao passo que solos úmidos apresentam uma baixa resistividade. Dessa forma, pode-se efetuar uma medição indireta da umidade do solo, medindo-se a resistência do solo.

Figura 2.7 – Sensor de umidade do solo.



Fonte: Autoria própria (2019).

2.2.5 – Sensor de chuva

A Figura 2.8 apresenta o sensor de chuva que foi utilizado no projeto. Esse sensor possui uma tensão de funcionamento de 5V, corrente de trabalho menor que 20mA, uma alta sensibilidade e um sinal de tensão de saída entre 0 e 3,5V.

O funcionamento deste sensor pode ser entendido pela incidência de água sobre as trilhas do sensor, que irá conduzir uma tensão entre as trilhas da placa fazendo assim a detecção da chuva. O comportamento lógico apresenta o estado ALTO quando o ambiente está seco e estado BAIXO quando tem a presença de água. Esta placa é toda revestida com um tratamento de níquel contra oxidação, melhorando a condutividade, desempenho e durabilidade.

Figura 2.8 – Sensor de presença de chuva.



Fonte: Autoria Própria (2019).

2.2.6 - Bomba de acionamento

Na Figura 2.9 está ilustrado a bomba utilizada no protótipo. A bomba utilizada é tipo de bomba centrífuga submersa sem escova, com tensão nominal de 12 Vdc, vida útil de 30.000 (trinta mil) horas, baixo nível de ruído e vazão de 240 litros por hora com coluna máxima d'água de 3 metros. Em suma, a bomba fornece energia cinética ao fluido de forma contínua por meio do rotor, que está em alta rotação, que é transformada em energia de pressão, sendo responsável pela transferência do fluido.

Figura 2.9 – Bomba utilizada no projeto.



Fonte: Autoria Própria (2019).

2.2.7 – Acionamento por relés

A unidade de controle utilizada nesse trabalho opera com tensões de alimentação de 5V. Dessa maneira, em suas saídas, o máximo nível de tensão que pode ser fornecido é 5V. Além disso, a corrente máxima que pode ser fornecida por seus terminais de saída é baixa, na faixa de 30mA.

Todavia, para o acionamento do motor e das válvulas solenoides, os níveis de tensão ou a corrente necessária para o acionamento são superiores ao que o microcontrolador consegue fornecer. Além disso, no caso da válvula solenoide, a tensão de operação desta válvula é alternada, em contraste a tensão contínua utilizada pelo microcontrolador.

Devido a esses motivos, em sistemas práticos de controle e automação, se faz uma interface entre o microcontrolador e o sistema de atuação. Essa interface é chamada de *driver*, e pode ser realizada de várias formas distintas. Nesse trabalho utilizou-se como *driver* um relé.

O relé é um dispositivo eletromecânico consiste em um interruptor eletromecânico. Aplicando-se uma corrente nos terminais da bobina do relé pode-se acionar este interruptor, possibilitando também o acionamento de cargas 220V DC, como equipamentos eletrônicos e motores com auxílio de um microcontrolador.

Nesse trabalho utilizou-se um módulo relé, apresentado na Figura 2.10. Esse módulo apresenta 8 canais, podendo acionar até 8 cargas distintas, sejam DC (no máximo 10A, 30Vdc) ou AC (no máximo 10A, 250Vac).

Figura 2.10 – Módulo relé de 8 canais.



Fonte: Autoria própria (2019).

2.2.8 Display LCD

Um dos periféricos utilizados foi *display* de cristal líquido LCD 16x2, responsável por exibir as informações da interface com o usuário. Esse display é um dos mais populares encontrados no mercado, Constituído por 16 colunas por 2 linhas.

Figura 2.11 – *display* de cristal líquido LCD 16x2



Fonte: Filipeflop (2019)

2.2.9 Botões

Foi utilizada para entrada de dados o seu funcionamento ocorre conecta dois pontos de um circuito quando pressionado. Foi conectado utilizando Pull-Up para manter a porta em nível lógico alto, quando o botão for pressionado a porta terá nível lógico baixo. Foi utilizado o resistor interno do Arduino.

Figura 2.12-botões



Fonte: Autoria própria (2019).

2.3 – Regras de controle automático

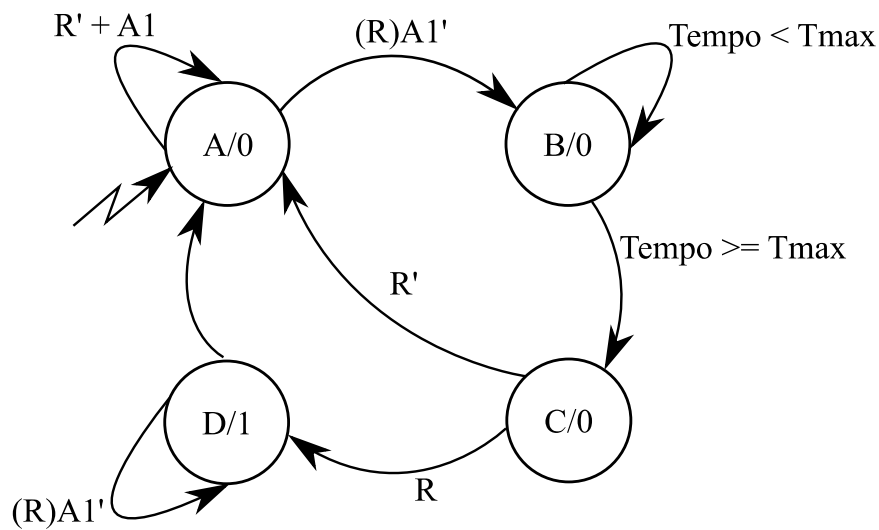
O sistema proposto neste trabalho deve permitir o controle automático e manual das válvulas solenoides V1, V2 e V3 e da bomba M2, a partir das medições dos sensores (A1, A0, B1, B0, C0 e R). No automático, as regras são tal a maximizar a utilização da água das chuvas para fins não potáveis, minimizando a utilização de água potável para este fim.

Nas subseções a seguir são apresentadas as regras de automático para as válvulas solenoides V1, V2 e V3 e da bomba M1. Este sistema foi desenvolvido inicialmente como trabalho de conclusão de curso pelo aluno Gleimy Ferreira Brasil, do curso de bacharelado em ciência e tecnologia da UFERSA.

2.3.1 – Regra de controle para a válvula V1

O comportamento para a válvula V1 pode ser regida por uma máquina de estados finitos, com diagrama de transições entre estados apresentados na Figura 2.11.

Figura 2.13 – Máquina de Estados para controle da válvula V1.



Fonte: Brasil, (2018).

O funcionamento da válvula V1 pode ser assim descrito:

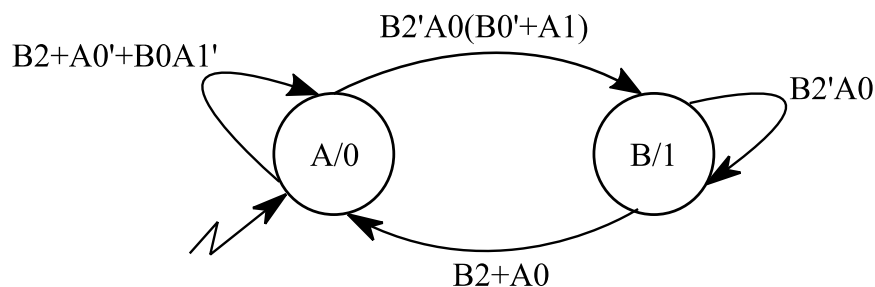
1. Inicialmente a válvula V1 encontra-se fechada. Detectada a presença de chuvas (quando $R=1$) e o reservatório A não esteja completamente cheio ($A1=0$), o sistema acessa um novo estado B. Caso contrário, ele permanece no estado A.
2. No estado B, o sistema deve esperar um tempo máximo, determinado por T_{max} , antes de abrir a válvula. Este tempo é necessário para realizar o descarte da primeira água das chuvas, que geralmente não é propícia para fins não potáveis. Neste estado a válvula permanece fechada, realizando o descarte dessa primeira água. Após finalizado o tempo T_{max} , o sistema acessa o estado C.
3. O estado C tem como objetivo verificar se, após o descarte inicial da água da chuva, ainda permanece chovendo. Caso ainda existe chuva, o sistema acessa um novo estado D. Caso contrário, o sistema retorna ao estado inicial (estado A);
4. O estado D tem como função liberar a válvula V1, permitindo a passagem de água para o reservatório inferior. A válvula permanece aberta até que a chuva pare ou o reservatório A fique completamente cheio. Nesses últimos casos, o sistema de controle retorna ao estado A.

Quando a válvula está fechada devido ao descarte inicial da água das chuvas, bem como na situação em que o reservatório A está completamente cheio, toda e qualquer água é descartada pelo cano ladrão.

2.3.2 – Regra de controle para o motor M1

O comportamento para o motor M1 pode ser regida por uma máquina de estados finitos, com diagrama de transições entre estados apresentados na Figura 2.12.

Figura 2.14- Máquina de Estados para controle do motor M1.



Fonte: Brasil, (2018).

Baseado na Figura 2.12, nota-se que o motor M1 estando desligado (i.e. a saída em nível lógico BAIXO), o mesmo será ligado (i.e. a saída em nível lógico ALTO) caso:

- O sensor de nível B2 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o reservatório B não está completamente cheio) **e**;
- O sensor de nível A0 acusar nível lógico ALTO (ou seja, o reservatório A não está completamente vazio) **e**;
- O sensor de nível B0 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o reservatório B estiver completamente vazio) **ou** o sensor A1 acusar nível lógico ALTO (ou seja, o reservatório A está completamente cheio).

Caso contrário, o motor M1 permanecerá desligado.

Por sua vez, pela análise da Figura 2.12, nota-se que a o motor M1 estando ligado, permanecerá ligada caso:

- O sensor de nível B2 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o reservatório B não está completamente cheio) **e**;

- O sensor de nível A0 acusar nível lógico ALTO (ou seja, o reservatório A não está completamente vazio);

Caso contrário, o motor M1 será desligado.

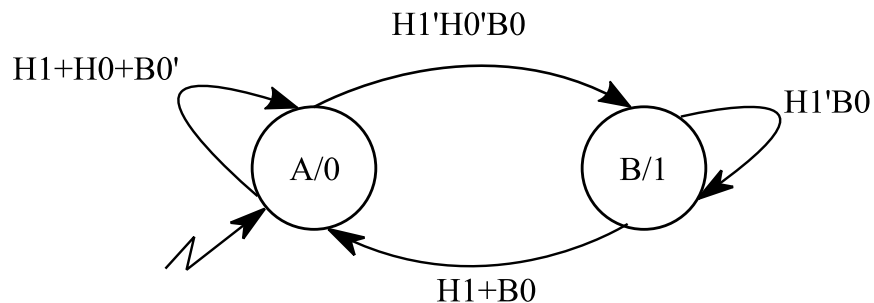
2.3.3 – Regra de controle para a válvula V2

O comportamento para a válvula V2 pode ser regida por uma máquina de estados finitos, com diagrama de transições entre estados apresentados na Figura 2.13. Nesse caso H1 e H0 correspondem a dois níveis de umidade de solo pré-estabelecidos e, portanto, são sinais digitais.

O sensor de umidade utilizado gera uma medida analógica H. Neste caso, os valores de H1 e H0 podem ser obtidos da medição H a partir da regra apresentada na Tabela 2.2. Os valores Hmax e Hmin correspondem aos valores analógicos medidos pelo sensor correspondentes a, respectivamente, o solo completamente seco e completamente úmido.

Os valores Hmax e Hmin são obtidos de forma empírica. Neste trabalho eles foram obtidos aplicando-se o sensor de nível em um solo completamente úmido (obtendo Hmin) e um solo completamente seco (obtendo Hmax). No caso, os valores medidos para Hmax e Hmin foram Hmax=800 e Hmin=400.

Figura 2.15 - Máquina de Estados para controle da válvula V2.



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 2.2 – Regras de Determinação de H1 e H0.

Valor Medido de H	H1	H0	Correspondência com o solo
$H \geq H_{\max}$	0	0	Seco
$H_{\min} \leq H < H_{\max}$	0	1	Intermediário
$H < H_{\min}$	1	1	Úmido

Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela análise da Figura 2.13, nota-se que a válvula V2 estando fechada (i.e. a saída em nível lógico BAIXO), o mesmo será aberta (i.e. a saída em nível lógico ALTO) caso:

- O sinal H1 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o solo não está completamente úmido) e;
- O sinal H0 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o solo está completamente seco) e;
- O sensor de nível B0 acusar nível lógico ALTO (ou seja, o reservatório B não estiver completamente vazio).

Caso contrário, a válvula V2 permanecerá fechada.

Por sua vez, pela análise da Figura 2.13, nota-se que a válvula V2 estando aberta, permanecerá aberta caso:

- O sensor de nível H1 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o solo ainda não está completamente úmido) e;
- O sensor de nível B0 acusar nível lógico ALTO (ou seja, o reservatório B não estiver completamente vazio);

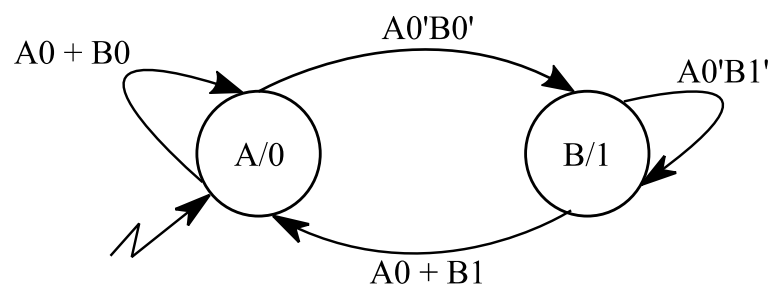
Caso contrário, a válvula V2 será fechada.

Um aspecto importante é que embora as válvulas solenoides possam operar em vazio, optou-se por adicionar uma regra de controle que verifique o nível do reservatório B, pois quando acionada a válvula, esta consome muita energia. Dessa forma, o sistema geraria um gasto em vão de energia, pois o reservatório B não possui água suficiente para irrigação.

2.3.4 – Regra de controle para a válvula V3

O comportamento para a válvula V3 pode ser regida por uma máquina de estados finitos, com diagrama de transições entre estados apresentados na Figura 2.14.

Figura 2.16 - Máquina de Estados Finito para Válvula V3.



Pela análise da Figura 2.14, nota-se que a válvula V3 estando fechada (i.e. a saída em nível lógico BAIXO), o mesmo será aberta (i.e. a saída em nível lógico ALTO) caso:

- O sensor de nível A0 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o reservatório A está completamente vazio) e;
- O sensor de nível B0 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o reservatório B está completamente vazio) e;

Caso contrário, a válvula V3 permanecerá fechada.

Por sua vez, pela análise da Figura 2.14, nota-se que a válvula V3 estando aberta, permanecerá aberta caso:

- O sensor de nível A0 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o reservatório A está completamente vazio) e;
- O sensor de nível B1 acusar nível lógico BAIXO (ou seja, o reservatório B não está completamente cheio) e;

Caso contrário, a válvula V3 será fechada.

2.4 – Regras de controle manual

O sistema projetado permite o controle manual de todas as válvulas e dos motores. Todavia, com o objetivo de preservar o bom funcionamento do sistema, algumas regras de controle manual foram implementadas:

- Não é possível ligar o motor M1 com o reservatório A completamente vazio, ou seja, não é permitido ligar o motor M1 quando o sensor de nível A0 apresentar nível lógico BAIXO;
- Não é possível ligar o motor M1 com o reservatório B completamente cheio, ou seja, não é permitido ligar o motor M1 quando o sensor de nível B2 apresentar nível lógico ALTO;
- Não é possível ligar o sistema de irrigação com o reservatório B completamente seco, ou seja, não é permitido abrir a válvula V2 quando o sensor de nível B0 apresentar nível lógico BAIXO;

Caso alguma dessas condições ocorra, é retornado ao usuário uma mensagem de erro, informando que a devida operação não pode ser realizada.

O trabalho de gleimy não contava com o funcionamento modo manual, interface homem maquina, sistema de irrigação, tratamento das leitura dos sensores.

2.5 – Tratamento das leituras dos sensores

Os sensores utilizados no trabalho, por serem mecânicos, podem apresentar problemas durante sua vida útil. Dessa forma, neste trabalho, implementou-se algumas regras de tratamento da leitura de sensores. O objetivo aqui é impedir que o funcionamento do sistema seja afetado por uma leitura incorreta dos valores dos sensores.

No sistema projetado, toda vez que o sistema apresenta um erro na leitura dos sensores, o sistema bloqueia toda ação do controle automático ou manual. Na interface homem-máquina do sistema é apresentada uma mensagem de erro, informando que os sensores devem ser verificados. O sistema só retorna a suas tarefas usuais quando o mesmo é resetado, a partir um comando externo, fornecido pelo usuário.

Neste trabalho foram implementadas algumas regras para o tratamento da leitura dos sensores:

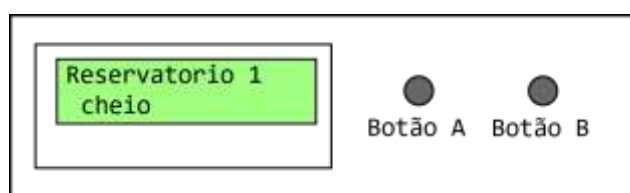
- É impossível que o sensor A1 acuse nível lógico ALTO quando o sensor A0 acuse nível lógico BAIXO;
- É impossível que o sensor B1 acuse nível lógico ALTO quando o sensor B0 acuse nível lógico BAIXO;
- É impossível que o sensor B2 acuse nível lógico ALTO quando o sensor B1 ou sensor B0 acuse nível lógico BAIXO.

É válido comentar que essas regras não precisam ser aplicadas ao sensor de umidade do solo, pois os valores H1 e H0 são gerados de tal forma que a situação $H1 = 1$ e $H0 = 0$ nunca irá ocorrer (ver Tabela 2.2).

2.6 – Interface homem-máquina (IHM)

A interface homem-máquina implementada nesse trabalho permite ao usuário do sistema obter informações do funcionamento do sistema, bem como realizar algumas configurações. Neste caso a interface consiste em um *Display* LCD, associado a dois botões, conforme apresentado na Figura 2.15.

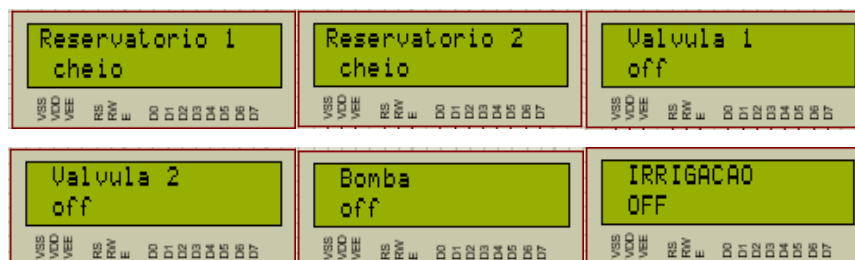
Figura 2.17 – Interface homem-máquina utilizada no trabalho.



Fonte: Autoria Própria (2019).

O *Display* LCD apresenta informações sobre o funcionamento do sistema, tal como o *status* dos reservatórios (cheio, nível intermediário ou vazio), das válvulas do sistema (aberta ou fechada) e do motor de bombeamento (ligado ou desligado). Por padrão, as informações sobre o funcionamento do sistema são apresentadas de forma cíclica no *Display*, com cada informação sendo apresentada em 2s, conforme apresentado na Figura 2.16.

Figura 2.18 – Exemplos de apresentação de mensagens do *Display* LCD.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Os Botões A e B servem para realizar configurações no sistema. Neste caso o Botão A troca a função apresentada no *Display*, ao passo que o Botão B realiza o ajuste da função atualmente apresentada.

Por padrão, o sistema está configurado em Modo Automático, e o usuário do sistema não tem controle sobre a operação do mesmo (o sistema funciona conforme as regras de controle definidas na Seção 2.3). Neste caso, o Botão B não apresenta nenhuma função, pois não há nenhum ajuste a ser feito no modo automático. Estando em modo automático, quando pressiona-se o botão A, acessa-se o menu de configurações do sistema, em que se pode alterar entre modo Automático e modo Manual.

Quando o sistema é configurado em Modo Manual, o Botão A troca qual variável será controlada (no caso, o motor e as válvulas). Neste caso, o Botão B apresenta a função de ligar (ou desligar) a referida função apresentada no *Display*. Neste caso o sistema observa algumas regras para o Controle manual (apresentadas na Seção 2.4). Caso alguma configuração incorreta seja apresentada, o sistema apresenta uma mensagem de erro no *Display*.

Por fim, conforme explicado na Seção 2.5, toda vez em que o sistema efetua uma medição errada nos sensores, é apresentado uma mensagem de erro curta no *Display*, informando o erro no sistema.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados alguns resultados de simulações e discussões para o sistema proposto. Inicialmente apresenta-se as cartas de tempo para as regras de controle automáticas, detalhadas no capítulo anterior. Em seguida apresenta-se a maquete criada para o projeto, que representa, em escala reduzida, o sistema projetado. Por fim é apresentada uma metodologia de testes, de forma a validar o sistema proposto.

3.1 – Resultados de simulação

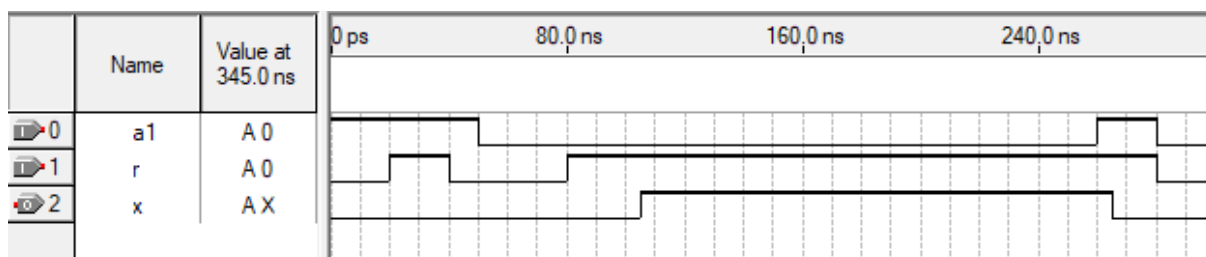
As regras de controle automático apresentadas na Seção 2.3 foram implementadas no Quartus II 9.0 SP2, um simulador lógico digital que permite a síntese e simulação de circuitos digitais. Como resultados, foram obtidas as cartas de tempo, que apresentam como os sinais de saída variam ao longo do tempo em relação aos sinais de entrada.

Nas subseções seguir apresenta-se as simulações referentes as regras de controle automático. Nas simulações a base de tempo é hipotética, ou seja, não corresponde a valores reais. Isso ocorreu devido a limitação do Quartus II em realizar simulações em que o tempo final é elevado. Dessa forma, as cartas de tempo estão apresentadas na escala de ns. Contudo isso não prejudica a validade dessas simulações, pois o objetivo na análise das cartas realizada nesse trabalho é apenas analisar o funcionamento lógico do sistema, não o temporal.

3.1.1 – Simulação para o controle da válvula V1

A carta de tempo para o controle da válvula V1 é apresentada na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Carta de tempo para o controle automático da válvula 1.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela análise da carta de tempo da Figura 3.1, observa-se que, no instante inicial, o reservatório A encontra-se completamente cheio ($a1 = 1$). Nessa situação, mesmo com a presença de chuva ($r = 1$), o sistema de controle não libera a passagem de água pela válvula 1.

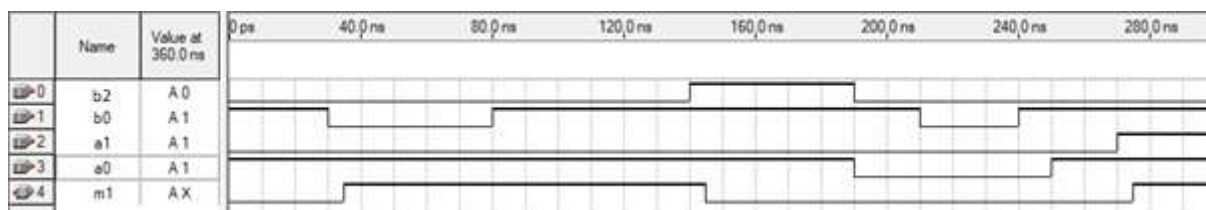
Quando o reservatório A não se encontra completamente cheio ($a1 = 0$) e ocorre a presença de chuvas ($r = 1$), o sistema de controle inicia uma contagem de tempo. Finalizada essa contagem, se a chuva ainda existir, a válvula é liberada para a passagem de água ($x = 1$).

Após liberar a válvula, o sistema continua monitorando o sensor de chuva e o sensor de nível máximo do reservatório A. Caso a chuva cesse ou o reservatório A fique completamente cheio, o sistema bloqueia a passagem de água pela válvula 1. No caso apresentado na carta de tempo, o reservatório A foi completamente preenchido com águas das chuvas ($a1 = 1$). Neste caso, o sistema de controle automático bloqueia a válvula 1, de forma a não transbordar o reservatório A.

3.1.2 – Simulação para o controle do motor M1

A carta de tempo para o controle do motor M1 é apresentada na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Carta de tempo para o controle automático do motor 1.



Fonte: Autoria própria (2019).

Pela análise da carta de tempo da Figura 3.2, observa-se que inicialmente os reservatórios A e B estão em seu nível pela metade ($b0 = 1$ e $a0 = 1$). Após um certo tempo, o reservatório B fica completamente vazio ($b0 = 0$). Neste caso, como existe um nível mínimo de água no reservatório A, o motor 1 é acionado ($m1 = 1$), bombeando água do reservatório A para o reservatório B.

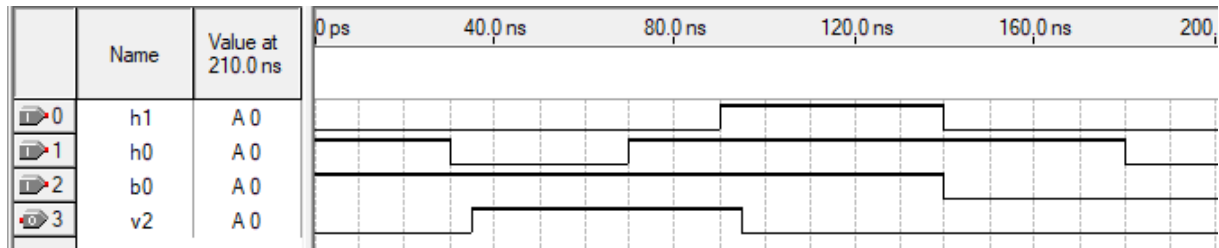
Após o motor ser ligado, o reservatório B vai se enchendo de água da chuva. Após um certo tempo, o reservatório B está completamente cheio ($b2 = 1$). Neste caso, o motor é desligado ($m1 = 0$).

Uma outra situação pode ser vista no final da carta de tempo. Neste caso, embora o reservatório B não esteja completamente vazio ($b0 = 1$), o motor é acionado ($m1 = 1$), pois o reservatório inferior encontra-se completamente cheio ($a1 = 1$) e o reservatório B não está completamente cheio ($b2=0$).

3.1.3 – Simulação para o controle da válvula V2

A carta de tempo para o controle da válvula V2 é apresentada na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Carta de tempo para o controle automático da válvula V2.



Fonte: Autoria própria (2019).

Pela análise da carta de tempo da Figura 3.3, observa-se que inicialmente o solo apresenta um nível intermediário de umidade ($h0 = 1$ e $h1 = 0$). Após um certo tempo, o solo fica completamente seco ($h0 = 0$). Neste caso, como existe um nível mínimo de água no reservatório B, a válvula V2 é acionada ($v2 = 1$), liberando a água do reservatório B para o sistema de irrigação.

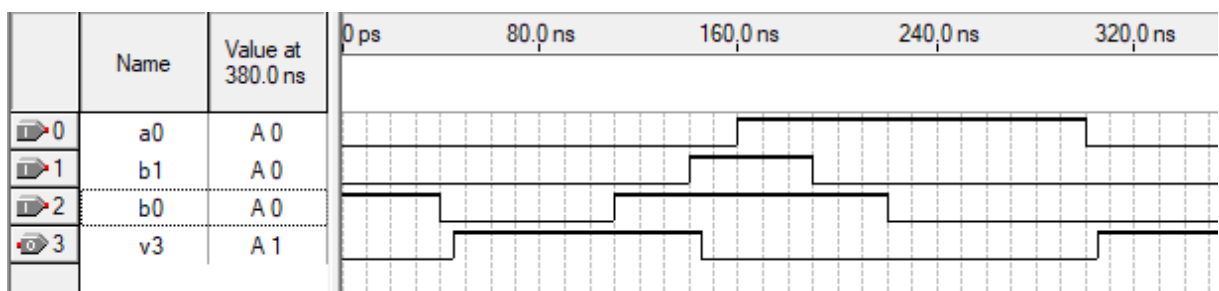
Após o sistema de irrigação ser ligado, o solo vai sendo molhado. Após um certo tempo, o solo está completamente úmido ($h1 = 1$). Neste caso, a válvula V2 é bloqueada ($v2 = 0$), finalizando o processo de irrigação.

Uma situação a parte pode ser vista no final da simulação. Neste caso, embora o solo permaneça completamente seco ($h0 = 0$), a válvula V2 não é aberta, pois o reservatório B está completamente vazio ($b0 = 0$).

3.1.4 - Simulação para o controle da válvula V3

A carta de tempo para o controle da válvula V3 é apresentada na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Carta de tempo para o controle automático da válvula V3.



Fonte: Autoria própria (2019).

Pela análise da carta de tempo da Figura 3.4, observa-se que inicialmente o reservatório B está em um nível intermediário ($b_0 = 1$ e $b_1 = 0$). Após um certo tempo, o reservatório B fica completamente seco ($b_0 = 0$). Neste caso, como não existe um nível mínimo de água no reservatório A ($a_0 = 0$), a válvula V3 é acionado ($v_3 = 1$), permitindo a passagem de água do reservatório C para o reservatório B.

Após a válvula V3 ser aberta, a água vai sendo levada do reservatório C para o reservatório B. Após um certo tempo, o reservatório B está cheio até o nível máximo permitido para a passagem do reservatório C para o A ($b_1 = 1$). Neste caso, a válvula V3 é bloqueada ($v_3 = 0$).

Uma situação a parte pode ser vista no final da carta de tempo. Neste caso, embora o reservatório B esteja completamente seco ($b_0 = 0$), existe água no reservatório A. Dessa forma, o sistema não libera a válvula V3, pois deve-se priorizar o uso de água das chuvas. Neste caso, a água é bombeada do reservatório A para o reservatório B (verificar que na carta de tempo para o motor M1 essa condição é responsável por ligar o motor M1).

3.2 – Elaboração da maquete do sistema

De forma a verificar o funcionamento do sistema proposto, simular o desnível entre o reservatórios e também para servir como suporte de fixação para outros elementos do sistema, (como as bombas, as válvulas e sensores) foi confeccionada uma maquete de madeira compensada, apresentada na Figura 3.5. A maquete representa uma residência, onde será instalado o sistema de aproveitamento da água da chuva proposto nesse trabalho.

Na maquete foram utilizados reservatórios de plástico para facilitar a instalação dos sensores. Os reservatórios superiores têm capacidade de armazenamento de 17 (dezessete) litros e o inferior com 24 (vinte e quatro) litros. De forma a simular o comportamento da calha, foi instalado um pequeno funil, preso lateralmente na maquete por uma fita Hellerman, de forma a captar água proveniente das chuvas. Internamente ao funil está acoplado o sensor de presença de chuvas. Na base inferior da foi instalado um vaso representando um jardim para ser irrigado. A interligação entre os recipientes foi realizada através de mangueira flexível, de forma a facilitar o transporte. A maquete conta com teto e lateral removíveis para facilitar o transporte e a visualização do funcionamento do sistema. Na maquete as bombas foram instaladas de forma submersa, dado que nessa configuração, as bombas geram menos ruído.

Figura 3.5 – Maquete que representa o sistema proposto.



Fonte: Autoria própria (2019).

Associado a maquete, foi construída uma caixa de madeira compensada, apresentada na Figura 3.6, com o objetivo de organizar e fixar o *Display* e os botões da interface homem-máquina, bem como acomodar o sistema de controle, protegendo-o contra adversidades externas.

A interligação dos componentes do projeto foi realizada por intermédio de uma matriz de contatos (*Protoboard*). A ligação do Arduino com os demais módulos do sistema é apresentada na Tabela 3.1. Todas as conexões foram devidamente isoladas utilizando-se espaguete termo retrátil.

A alimentação dos componentes da maquete foi realizada por três fontes diferentes:

- Uma fonte de corrente alternada, disponível através de uma tomada, que fornece alimentação para as válvulas solenoides;
- Uma fonte regulada de 12V, conforme apresentado na Figura 3.7, que fornece a alimentação para a bomba;
- Uma porta USB, conectada a um computador, que fornece alimentação para o Arduino e todo o sistema de controle.

Figura 3.6 – Caixa central de controle.



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 3.1 - Conexão do Arduino com os demais componentes do projeto.

Pino do Arduino	Ligação
0	
1	Sensor de Nível B1
2	Botão A
3	Pino 14 <i>Display</i> LCD
4	Pino 13 <i>Display</i> LCD
5	Pino 12 <i>Display</i> LCD
6	Pino 11 <i>Display</i> LCD
7	Válvula 1
8	Sensor de nível A0
9	Sensor de nível A1
10	Pino 6 <i>Display</i> LCD
11	Pino 4 <i>Display</i> LCD
12	Válvula 3
13	Bomba

A0	Sensor de Chuva
A1	Sensor de umidade do solo
A2	Sensor de Nível B2
A3	Sensor de Nível B0
A4	Botão B
A5	Válvula 2

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 3.7 – Fonte estabilizadora de 12V utilizada na maquete.



Fonte: Autoria própria (2019).

O diagrama esquemático do sistema implementado na maquete pode ser encontrado no Anexo A deste texto.

3.3 – Testes práticos na maquete

De forma a verificar o funcionamento correto do sistema implementado na maquete, realizou-se um conjunto de testes, que visam verificar o comportamento do sistema proposto em diferentes situações possíveis.

Nos testes realizados, os reservatórios foram enchidos com água e verificou-se o comportamento do sistema em diferentes situações. A chuva foi simulada colocando-se água no funil. Em todos os testes admitiu-se a presença de água no reservatório C, que foi

previamente enchido. Por fim, no código, o tempo de descarte da água foi ajustado (para fins didáticos) para um valor pequeno (2 s).

Essa seção está subdividida em duas, de forma a apresentar melhor os resultados práticos obtidos. Inicialmente apresenta-se os resultados referentes as regras de controle automático. Em seguida são apresentadas as regras de controle manual.

3.3.1 – Análise prática das regras de controle automático

Inicialmente o sistema foi configurado para operar em modo automático. Em um primeiro teste foi adotado a situação em que o reservatório A está completamente cheio e o reservatório B está vazio. Neste caso observa-se que o motor é acionado, levando água do reservatório A para o reservatório B. Observa-se que o motor permaneceu ligado enquanto o nível máximo para o reservatório B não foi atingido.

Considerando essa situação dos reservatórios, foi simulado um processo de irrigação da plantação. Nos testes, de forma a manter um maior controle do sistema, o sensor de umidade do solo foi substituído por um potenciômetro. Ajustando-se o potenciômetro para obtermos um valor na entrada analógica do Arduino correspondente a um solo seco (ver a Tabela 2.2), observa-se que o sistema permite a passagem de água por meio da válvula 2, realizando a irrigação do sistema. Após um certo período de irrigação, ajustou-se o potenciômetro para um valor correspondente a um solo úmido (novamente, ver a Tabela 2.2). Neste caso, observa-se que a válvula 2 é bloqueada, impedindo a passagem de água para a irrigação.

Finalizado esse teste, seguiu-se com uma nova situação, em que secou-se os reservatórios A e B. Neste caso, como o reservatório A e B estão completamente secos, observou-se que a válvula V3 é acionada, de forma a permitir a passagem de água do reservatório C para o reservatório B. Após a água atingir o nível indicado por B1, a válvula V3 é bloqueada.

Dando continuidade aos testes, foi simulado a presença de chuva, colocando água no funil da maquete. No momento em que o sensor acusou a presença de chuva, conforme apresentado na Figura 3.8. Observou-se que o sistema passou algum tempo para liberar a passagem de água pela válvula 1. Após esse tempo, dado que a chuva permaneceu, nota-se que a válvula 1 é liberada, e o reservatório A inicia a captação da água da chuva. Nessa situação, foi testado que a chuva se prolongue até que o nível máximo do reservatório A seja atingido. Nesse caso, o sistema bloqueia a passagem de água pela a válvula 1 e a água em excesso é descartada.

Figura 3.8 – Mensagem de apresentada pelo sistema quando a chuva começa.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.3.2 – Análise prática das regras de controle manual

Após o teste do módulo automático, configurou-se o sistema em modo manual. Em um primeiro momento, o reservatório A foi enchido completamente, ao passo que o reservatório B foi enchido até meio nível. Neste caso, quando se inseriu o comando para ligar o motor 1, este comando foi prontamente atendido, pois a essa situação não compete nenhuma regra de erro do controle manual.

Por sua vez, em um segundo momento, ambos reservatórios A e B foram enchidos completamente. Neste caso, quando se aplicou o comando para ligar o motor 1, o sistema acusou uma mensagem de erro, apresentada na Figura 3.9, indicando que o reservatório B não pode ser enchido além do seu limite máximo.

Figura 3.9 – Mensagem de erro acusada quando deseja-se ligar o motor 1 quando o reservatório B está completamente cheio.



Fonte: Autoria própria (2019).

Um outro teste em relação aos comandos manuais foi realizado considerando o reservatório A vazio e o reservatório B em seu nível intermediário. Neste caso, quando o

aplicou-se o comando para ligar o motor 1, o sistema acusou uma mensagem de erro, apresentada na Figura 3.10, indicando que o motor não pode ser acionado em vazio.

Figura 3.10 – Mensagem de erro acusada quando deseja-se ligar o motor 1 quando o reservatório A está completamente vazio.



Fonte: Autoria própria (2019).

Após realizado os testes do controle manual do motor, realizou-se os testes referentes ao controle manual da válvula 2. Inicialmente o reservatório B foi enchido completamente. Neste caso, quando se inseriu o comando para abrir a válvula 2, este comando foi prontamente atendido, pois a essa situação não compete nenhuma regra de erro do controle manual. Todavia, quando secou-se o reservatório B e inseriu-se o comando para abrir a válvula 2, este foi prontamente recusado pelo sistema, acusando que não existe água no reservatório B, conforme indicado na Figura 3.11.

Figura 3.11 – Mensagem de erro acusada quando deseja-se liberar a irrigação quando o reservatório B está completamente vazio.





Fonte: Autoria própria (2019).

Finalizando os testes realizados, condições nas quais a medida dos sensores está incorreta. Neste caso, acionou-se de forma manual os sensores de nível, fechando-se os contatos do sensor A1 e deixando os contatos do sensor A0 em aberto. Neste caso, o sistema acusa uma mensagem de erro, apresentada na Figura 3.12. Neste caso o sistema bloqueia todo e qualquer comando manual ou automático, exigindo que o usuário do sistema verifique possíveis erros nas conexões.

Figura 3.12 – Mensagem de erro acusada quando uma leitura incorreta dos sensores é realizada.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.4 – Aspectos práticos na instalação do sistema

Alguns pontos importantes devem ser considerados para a implementação do sistema proposto nesse trabalho em uma residência real. Alguns desses aspectos estão listados a seguir:

- Deve-se utilizar bombas d'água com alta potência no lugar da bomba submersa utilizada neste trabalho. Isso ocorre devido ao fato que a bomba utilizada na maquete não permite a elevação de água para níveis muito altos, além de possuir uma baixa vazão;

- O acionamento das bombas d'água deve ser feito através de um contator, que permite o acionamento de cargas com maior potência;
- Deve-se utilizar reservatórios práticos, com alta capacidade de armazenamento (caixas d'agua);
- Na instalação dos sensores, deve-se evitar abrir furos nas caixas d'agua. Geralmente esses sensores são instalados em um cano, que é submerso na caixa de água;
- O sensor de presença de chuva deve ser instalado separadamente a calha de captação da água da chuva;
- Deve-se possuir uma estrutura na residência de forma a permitir a passagem de cabos referentes aos sensores de nível e os sinais de atuação das válvulas;

Do ponto de vista prático, recomenda-se que o sistema projetado nesse trabalho seja instalado próximo a bomba d'agua, de forma a aproveitar o sistema de alimentação e diminuir o tamanho dos cabos referentes ao sistema de acionamento e medição.

3.5 – Análise de Preços

A Tabela 3.2 demonstra os preços dos componentes utilizados no projeto. Os fios de conexões, assim como os resistores não foram considerados no preço final do projeto, pois apresentam custos pouco significativos. Os preços aqui considerados têm como base um site de compras online (<https://www.mercadolivre.com.br>), e podem sofrer alterações com o tempo.

Tabela 3.2 – Preços do sistema projetado.

Componente	Preço
Bomba D Água Periférica 1/2 Cv	143,00
Contator 24/220v monofásico	36,00
5 x Sensor De Nível De Água Interruptor De Bóia	100,00
3 x Valvula Solenoíde 220v 1/2	135,00
Sensor De Chuva	21,00
Sensor De Umidade Do Solo - Higrômetro	14,00
Microcontrolador Atmega328p-pu	19,00

Display Tela Lcd 16x2	15,00
Módulo Relé 4 Canais 5v 10a	23,00
2 x Caixa d'Água 1000 Litros	640,00
TOTAL →	1.146,00

Fonte: Autoria Própria (2019).

4 - CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de criar um protótipo de um sistema automático de aproveitamento de águas das chuvas para uso doméstico e irrigação. Os objetivos proposto para este o trabalho foram atingidos, ao desenvolver o protótipo de um sistema que realiza o controle e monitoramento do nível de água pluviais automatizado, para uso não potável como no caso o sistema de irrigação, salientando que todos os processos podem ser controlado de maneira totalmente autônoma ou pelo próprio usuário através da interface homem-máquina (IHM) no qual o display mostra o estado da bombas e válvulas solenoide.

Destaca-se a possibilidade de abastecimento do reservatório B com água potável em período de estiagem, ou quando a água provinda da chuva não supre a demanda residencial onde o sistema foi instalado.

Diante desses resultados, é possível contribuir com o meio ambiente ao se reduzir a utilização de água potável para fins menos nobres, consequentemente contribuir para a redução da conta de água e para a diminuição no acúmulo de água nas áreas urbanas, evitando assim o risco com enchentes e inundações. Portanto o sistema demonstrou a utilização dos conhecimentos da engenharia, pode-se desenvolver sistemas automatizados eficientes, baixo custo e seguros.

Como trabalhos futuros pode-se citar:

- Desenvolver um sistema de controle pelo smartphone que possibilite a comunicação via internet.
- O acréscimo de filtros ou até mesmo tanques de desinfecção por adição de substância químicos, de maneira que o sistema possa controlar a quantidade produto adicionado;
- O desenvolvimento de uma placa de circuito impresso;
- Implementar o sistema em outra plataforma de *Hardware*.
- Apresentar a temporização da chuva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aita, Ricardo Hahn. **Sistema de irrigação localizada e automatizada**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul Curso de Engenharia de Controle e Automação (ECA), 2017.

ANA, **no rumo de mudança**, Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf>. Acesso em: 04 novembro. 2018.

ANA, Irrigação. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/usos-da-agua/irrigacao>>. Acesso em: 03 janeiro. 2019.

BAZZARELLA, Bianca Barcellos. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. TCC (pós-graduação) - em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo Centro Tecnológico, 2005.

CITISYSTEMS, **Como Funciona a Válvula Solenóide e Quais São os Tipos Existentes?** Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/valvula-solenoid/>>. Acesso em: 03 janeiro. 2019.

DINIZ JÚNIOR, José Geraldo. **Sistema automatizado de reuso de águas pluviais e residuais para fins não potáveis**. 2016. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

FERREIRA, Gleimy Brasil. **Automação e monitoramento de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para utilidades não potáveis**, Universidade Federal Rural Do Semi-árido, Pau dos ferros, 2018.

FILIPEFLOP, **Display LCD 16×2 Backlight Azul**, Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/display-lcd-16x2-backlight-azul/>>. Acesso em: 31 outubro. 2018.

GRASSI, M. T. **As Águas do Planeta Terra**. Edição Especial, mai. 2001.

MAGALHÃES, Lilia Rodrigues Lucas. **Automação e controle em sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis**. 140 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Uniceub, Brasília, 2011.

ONU, FAO e Confederação Nacional da Agricultura lançam estudo sobre agricultura irrigada brasileira. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/fao-e-confederacao-nacional-da-agricultura-lancam-estudo-sobre-agricultura-irrigada-brasileira/>>. Acesso em: 02 novembro. 2018.

ONU, **Até 2030 planeta pode enfrentar déficit de água de até 40%, alerta relatório da ONU**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/ate-2030-planeta-pode-enfrentar-deficit-de-agua-de-ate-40-alerta-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 05 novembro. 2018.

ONU, **Brasil perde R\$10,5 bilhões em desperdício de água na distribuição, revela Pacto Global**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/brasil-perde-r-105-bilhoes-em-desperdicio-de-agua-na-distribuicao-revela-pacto-global/>>. Acesso em: 03 janeiro. 2019.

ONU, **FAO e Confederação Nacional da Agricultura lançam estudo sobre agricultura irrigada brasileira**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/fao-e-confederacao-nacional-da-agricultura-lancam-estudo-sobre-agricultura-irrigada-brasileira/>>. Acesso em: 07 novembro. 2018.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura em área urbana para fins não potáveis**. 8.ed.SãoPaulo: Saraiva, 2009. 13 p. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_conservacao/capitulo8.pdf>. Acesso em: 31 outubro. 2018.

UNESCO, **água e emprego**. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244041por.pdf>>. Acesso em: 01 novembro. 2018.

UNESCO, **2018-2028 - Década Internacional para Ação, Água para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/about-this-office/prizes-and-celebrations/2018-2028-international-decade-for-action-water-for-sustainable-development/>>. Acesso em: 01 novembro. 2018.

ANEXO A – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA IMPLEMENTADO

