

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO – FATEC SP

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA
INDUSTRIAL**

**ANDRÉ OLIVEIRA SILVA
LUIS HENRIQUE LOURENÇO
MICHEL DE OLIVEIRA NASCIMENTO**

**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO VISANDO
AUTOMATIZAÇÃO DE IRRIGAÇÃO**

São Paulo

2022



ANDRÉ OLIVEIRA SILVA
LUIS HENRIQUE LOURENÇO
MICHEL DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO VISANDO
AUTOMATIZAÇÃO DE IRRIGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Habilitação Tecnológica de Nível Superior em Eletrônica Industrial da Faculdade de Tecnologia de São Paulo como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Orientador: Professor Dr. Leonardo Frois Hernandez.

São Paulo

2022

Autorizamos a reprodução total ou parcial desta publicação para fins acadêmicos desde que citada a fonte.



André Oliveira Silva



Luis Henrique Lourenço



Michel de Oliveira Nascimento

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, A. O.; LOURENÇO, L. H.; NASCIMENTO, M. O.
Sistema Para Avaliação da Umidade do Solo Visando
Automatização de Irrigação. 2022. 161p. Monografia (Tecnólogo
em Eletrônica Industrial) – Faculdade de Tecnologia de São Paulo,
São Paulo.

Orientador: Professor Dr. Leonardo Frois Hernandez

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Eletrônica
Industrial). Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

1. Irrigação. 2. Sensor de umidade do solo. 3. Sensor ultrassônico.
4. PIC.

ANDRÉ OLIVEIRA SILVA
LUIS HENRIQUE LOURENÇO
MICHEL DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO VISANDO
AUTOMATIZAÇÃO DE IRRIGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito para obtenção do grau de tecnólogo no Curso Tecnológico em Eletrônica Industrial da Faculdade de Tecnologia de São Paulo sob orientação do Professor Dr. Leonardo Frois Hernandez.

Dr. Victor Sonnenberg
Coordenador do curso / Chefe do Departamento de Sistemas Eletrônicos

Dr. Leonardo Frois Hernandez
Orientador

Dr. Maria Lúcia Pereira da Silva
Avaliadora

Me. Ricardo Cardoso Rangel
Avaliador

Conceito: _____

São Paulo, ____ de _____ de 2022.

Dedicamos este trabalho às nossas famílias e a todos que de alguma forma
contribuíram para a conclusão deste curso

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de registrar nosso agradecimento ao professor Leonardo Frois Hernandez, nosso orientador, por toda a paciência em meio as dificuldades, e por iluminar o caminho nos momentos de mais incerteza.

Agradecemos também aos membros que fizeram parte da nossa banca avaliadora, professor Leonardo Frois Hernandez, professora Maria Lúcia Pereira da Silva e professor Ricardo Cardoso Rangel, pela paciência e compreensão em meio aos atrasos, além da dedicação de seus tempos livres para apreciação deste trabalho.

À Fatec São Paulo, e nossos professores das mais diversas áreas do conhecimento, por permitirem acesso a um ensino público e de qualidade, abrindo portas para melhores oportunidades de desenvolvimento pessoal e profissional.

Eu, André, agradeço em primeiro lugar à Deus por guiar minha vida até este momento, oferecendo proteção e ajuda nos momentos de crise. Agradeço aos meus pais, João e Maria, por seu amor e dedicação, me apoiando incondicionalmente em todas as situações, permitindo que eu chegasse até aqui. Agradeço também ao meu colega de trabalho Leandro Allocca, por seu grande incentivo e ajuda durante a realização deste trabalho. Por fim, agradeço a todos que compreenderam minha ausência para focar neste trabalho.

Eu, Luis, agradeço a minha mãe, Marli por todo o suporte e “puxões de orelha” dados durante minha caminhada até aqui e aos meus irmãos, Marco, Marcelo e Vitória pelas palavras de incentivo e apoio durante o curso. Agradeço também meus companheiros de projeto, André e Michel, pessoas que dividiram comigo momentos bons e ruins dentro da Fatec e que foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Eu, Michel, gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me dar proteção em um momento tão difícil ao qual passamos, à minha esposa Viviane e meu filho Arthur, pela paciência e compreensão, e para aqueles que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

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

(Nikola Tesla)

RESUMO

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), o consumo de água no Brasil pode crescer 24% até o ano de 2030. Segundo a agência, o país consome atualmente cerca de 2 milhões e 83 mil litros de água por segundo, podendo ultrapassar até 2030, a marca de 2,5 milhões de litros por segundo. Desse total, mais da metade provém da agricultura irrigada. Ao mesmo tempo, esta atividade é a que mais provoca desperdício de água, devido a problemas como o uso de métodos ineficientes de irrigação e falta de controle da quantidade de água usada na lavoura. Neste cenário, e considerando a crescente demanda por alimentos no Brasil e no mundo, têm-se desenvolvido diversos sistemas e tecnologias capazes de diminuir o consumo e desperdício de água, sem comprometer a produtividade. A proposta deste trabalho é desenvolver um protótipo de um sistema para avaliação da umidade do solo visando automatização de irrigação. Para isso, foram utilizados dentre outros componentes, um microcontrolador PIC em conjunto com sensores capacitivos de umidade do solo CS12, formando um sistema capaz de fornecer a quantidade adequada de água para o cultivo, de acordo com parâmetros ajustáveis de umidade do solo. Também foi previsto um mecanismo de proteção de bomba de irrigação por falta de água utilizando um sensor ultrassônico HC-SR04 para monitoramento do volume de água de um reservatório, permitindo a aplicação em sistemas de irrigação que não utilizam da força da gravidade. Um display LCD foi utilizado para o monitoramento da irrigação através de um sistema de menus intuitivo navegável por botões. Para verificar a capacidade dos sensores capacitivos de quantificarem a umidade do solo, foram realizados ensaios com amostras de solo (compostas de 50% de terra vegetal vermelha e 50% de terra vegetal marrom), para determinação de matéria seca e de umidade gravimétrica do solo através do método de secagem por forno micro-ondas, permitindo comparar o sinal dos sensores com a estimativa de umidade gravimétrica obtida. Os resultados foram plotados em curvas que demonstram confiabilidade devido ao comportamento simétrico de um sensor em relação ao outro, além da capacidade dos sensores de traduzirem o aumento da umidade do solo em valores progressivamente menores do sinal de saída dos mesmos. Por fim, a proposta foi materializada em uma placa de circuito construída com jumpers soldados, e submetida a testes de desempenho em uma maquete desenvolvida para este trabalho. Os testes mostraram um protótipo capaz de avaliar a umidade do solo e automatizar um sistema de micro irrigação por gotejamento com boa sensibilidade, mas com reduzida precisão devido a diferenças de range de operação entre o sensor e o PIC.

Palavras-chave: Irrigação. Sensor de umidade do solo. Sensor ultrassônico. PIC.

ABSTRACT

According to the National Water Agency (ANA), water consumption in Brazil could grow by 24% by the year 2030. According to the agency, the country currently consumes around 2 million and 83 thousand liters of water per second, surpass by 2030, the mark of 2.5 million liters per second. Of this total, more than half comes from irrigated agriculture. At the same time, this activity is the one that most causes water wastage, due to problems such as the use of inefficient irrigation methods and lack of control over the amount of water used in the fields. In this scenario, and considering the growing demand for food in Brazil and in the world, several systems and technologies have been developed capable of reducing water consumption and waste, without compromising productivity. The purpose of this work is to develop a prototype solution for electronic monitoring and control of a micro drip irrigation system. For this, among other components, a PIC microcontroller together with capacitive soil moisture sensors CS12 were used, forming a system capable of supplying the appropriate amount of water for cultivation, according to adjustable parameters of soil moisture. An irrigation pump protection mechanism due to lack of water was also foreseen, using an HC-SR04 ultrasonic sensor to monitor the volume of water in a reservoir, allowing the application in irrigation systems that do not use the force of gravity. An LCD display was used for irrigation monitoring through an intuitive button-navigable menu system. To verify the capacity of capacitive sensors to quantify soil moisture, tests were carried out with soil samples (composed of 50% red vegetal soil and 50% brown vegetal soil) to determine dry matter and gravimetric soil moisture. through the microwave oven drying method, allowing to compare the sensor signal with the gravimetric moisture estimate obtained. The results were plotted on curves that demonstrate reliability due to the symmetrical behavior of one sensor in relation to the other, in addition to the ability of the sensors to translate the increase in soil moisture into progressively lower values of their output signal. Finally, the proposal was materialized in a circuit board built with soldered jumpers, and submitted to performance tests in a model developed for this work. The tests showed a prototype capable of evaluating soil moisture and automating a micro drip irrigation system with good sensitivity, but with reduced accuracy due to differences in the operating range between the sensor and the PIC.

Keywords: Irrigation. Soil moisture sensor. Ultrasonic sensor. PIC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Brasil e as suas respectivas zonas de risco hídrico.	17
Figura 2 - Método de irrigação por sulcos.....	21
Figura 3 – Método de Irrigação por Faixas	21
Figura 4 – Método de Irrigação Por Inundação.....	22
Figura 5 – Irrigação por Aspersão	23
Figura 6 – Irrigação Localizada.....	24
Figura 7 – Arquiteturas Von-Neumann e Harvard	26
Figura 8 - Pinagem do PIC18F4550.....	27
Figura 9 – Arquitetura Interna PIC18F4550.....	27
Figura 10 – Amostragem de Sinal com Conversor A/D de 10 Bits	28
Figura 11 – Diagrama de tempo de um flip-flop Tipo D.....	32
Figura 12 – Registrador de deslocamento composto por flip-flops tipo D em cascata.....	33
Figura 13 – Circuito multiplexador	33
Figura 14 – Especificações PIC18F4550	34
Figura 15 – Sensor resistivo de umidade do solo (esquerda) e seu circuito comparador de tensão (direita).....	36
Figura 16 – Esquema de construção do sensor capacitivo de umidade do solo	37
Figura 17 – Sensor capacitivo de umidade do solo CS12 v1.2 (lado esquerdo) e construção interna do sensor (lado direito).....	37
Figura 18 – Sensor ultrassônico HC-SR04.....	38
Figura 19 – Pinagem do multiplexador analógico CD4052	40
Figura 20 – Tabela verdade do multiplexador analógico CD4052.....	40
Figura 21 – Especificações do multiplexador analógico CD4052	41
Figura 22 – Descrição dos componentes do kit de micro irrigação por gotejamento	43
Figura 23 – Embalagem e informações do solo utilizado para testes do projeto	44
Figura 24 – Esboço do sistema proposto	46
Figura 25 – Proposta de sistema de monitoramento e controle da irrigação.....	47
Figura 26 – Método para remoção da umidade: A) aquecimento inicial; B) pesagem do béquer; C) pesagem da amostra para secar; D) amostra com massa constante ou “seca”; E) procedimento de secagem das amostras nos respectivos béqueres.	52
Figura 27 – Sensores capacitivos de umidade do solo devidamente identificados para os testes	54

Figura 28 – Sensores de umidade instalados em cada béquer	55
Figura 29 – Esquemático geral do protótipo	57
Figura 30 – Circuito do PIC (lado esquerdo) e LCD com botões de navegação (lado direito)	58
Figura 31 - A) emulação de sensores em cada grupo de cultivo e; B) circuito multiplexador para aumento do número de grupos de cultivo e/ou sensores.	59
Figura 32 – A) Microcontrolador PIC e B) Sensor ultrassônico	60
Figura 33 – A) Circuito Integrado 75HC595; B) Simulação de válvulas usando relés; C) Simulação de bomba usando lâmpada em corrente alternada	61
Figura 34 – Circuito esquemático do regulador de tensão 7805	62
Figura 35 – Vista 3D do layout superior da placa de circuito	63
Figura 36 – Fases iniciais de confecção da placa-protótipo	63
Figura 37 – Visões de frente e verso da placa-protótipo finalizada	64
Figura 38 - Tensão de saída em função da umidade percentual em massa de água em amostras de solo.....	65
Figura 39 – Sensor ultrassônico instalado no reservatório	66
Figura 40 – Sensor medindo volume zero de água com reservatório vazio	68
Figura 41 – Montagem dos alojamentos para porções de solo.....	71
Figura 42 – Montagem dos gotejadores nas válvulas (lado esquerdo) e das estacas gotejadoras (lado direito) Fonte: 42 – Autoria própria	72
Figura 43 – Instalação do sensor ultrassônico para leitura de volume de água do reservatório	72
Figura 44 - Base principal da maquete concluída.....	73
Figura 45 – Configuração de testes em maquete	73
Figura 46 – Placa protótipo parte traseira (lado esquerdo) e parte frontal (lado direito).	74
Figura 47 – Diagrama de tempo do sensor ultrassônico HC-SR04.....	142
Figura 48 - Parâmetros Elétricos do Sensor HC-SR04 - Datasheet	142
Figura 49 – Esquemático simplificado do 74HC595	144
Figura 50 – Diagrama de tempo do 74HC595.....	144
Figura 51 – Especificações 74HC595	145
Figura 52 – Imagem de display LCD físico	146
Figura 53 – Pinagem do display LCD	146
Figura 54 – Conexões típicas do display LCD	147
Figura 55 – Botão de pulso usado para navegação dos menus do LCD.....	147
Figura 56 – Potenciômetro para ajuste de luz de fundo do LCD	147

Figura 57 – Terminais do regulador de tensão 7805	148
Figura 58 – Características regulador 7805	149
Figura 59 – Circuito regulador de tensão típico utilizado no protótipo.....	149
Figura 60 – Módulo de relés.....	150
Figura 61 – Características do módulo de relés.....	150
Figura 62 – Válvula solenoide.....	151
Figura 63 – Especificações das válvulas utilizadas	151
Figura 64 – Conexões de engate rápido utilizadas	152
Figura 65 – Bomba submersível utilizada no protótipo	153
Figura 66 – Especificações técnicas das válvulas solenoide utilizadas.....	153
Figura 67 – Fonte chaveada 24Vcc / 3A	155
Figura 68 – Especificações técnicas fonte chaveada 24 Vcc.....	155
Figura 69 – Kit de micro irrigação por gotejamento da Amanco®.....	156
Figura 70 – Resultados obtidos durante ensaios do sensor 1	157
Figura 71 - Resultados obtidos durante ensaios do sensor 2	158
Figura 72 - Resultados obtidos durante ensaios do sensor 2	159
Figura 73 – Curvas de leitura dos sensores em volts vs conteúdo de água do solo em gramas	160
Figura 74 – Curvas de leitura dos sensores vs umidade gravimétrica percentual	161
Figura 75 - Resultados obtidos durante ensaios do sensor resistivo HL-69.....	162
Figura 76 – Curva de leitura do sensor (em bits) vs umidade gravimétrica (percentual).....	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa de consumo do conjunto de componentes.....	43
Tabela 2 - Resultados obtidos para preparo dos solos pelo método de aquecimento por forno micro-ondas	53
Tabela 3 - Resultados obtidos para preparo dos solos pelo método de aquecimento por forno micro-ondas.	54
Tabela 4 – Dimensões do reservatório utilizado	67
Tabela 5 – Medições de volume de água com sensor ultrassônico	69
Tabela 6 – Condições iniciais dos testes	74
Tabela 7 – Parâmetros ajustados para teste de desempenho	74
Tabela 8 – Tempo para sensibilização dos sensores.....	76
Tabela 9 – Tempos de um ciclo completo de irrigação.....	76
Tabela 10 – Estimativa de consumo dos componentes do protótipo.....	154
Tabela 11 - Gastos com componentes eletroeletrônicos	164
Tabela 12 – Gastos com materiais e instrumentos gerais.....	165

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. OBJETIVOS	17
1.1.1. GERAL	17
1.1.2. ESPECÍFICO	17
1.2. JUSTIFICATIVA	18
1.3. METODOLOGIA.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. IRRIGAÇÃO	20
2.1.1. Irrigação por Superfície.....	20
2.1.1.1. Irrigação por Sulcos.....	20
2.1.1.2. Irrigação por Faixas.....	21
2.1.1.3. Irrigação por Inundação.....	22
2.1.2. Irrigação por Aspersão.....	22
2.1.3. Irrigação Subterrânea	23
2.1.4. Irrigação Localizada.....	24
2.1.5. Escolha do Método	24
2.2. DISPOSITIVOS PARA CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS E CIRCUITOS ELETRÔNICOS	25
2.2.1. Dispositivo Microcontrolador e o modelo PIC.....	25
2.2.2. Características Principais dos microcontroladores PIC	26
2.2.3. I/O Ports	28
2.2.4. Conversor A/D	28
2.2.5. Interrupções.....	29
2.2.6. Memórias RAM, ROM e EEPROM em microcontroladores e no PIC18F4550	29
2.3. SENSORES	29
2.3.1. Sensores de Umidade do Solo.....	30
2.3.2. Sensores de Nível.....	30
2.3.3. Nível em Sistemas de Irrigação	31
2.4. OUTROS CIRCUITOS ELETRÔNICOS QUE PODEM COMPOR PROJETOS DE EQUIPAMENTOS – REGISTRADOR DE DESLOCAMENTO (SHIFT REGISTER) E MULTIPLEXADOR.....	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS	34
3.1.1. Microcontrolador PIC 18F4550	34
3.1.2. Gravadores mais utilizados para PIC - PicKit3.....	35

3.1.3. Sensores de Umidade do Solo.....	35
3.1.3.1. Sensor de Umidade do Solo – modelo resistivo HL-69.....	35
3.1.3.2. Sensor de Umidade do Solo – modelo capacitivo CS12.....	36
3.1.4. Sensor Ultrassônico para Medição de Volume de Água.....	38
3.1.5. Circuito Integrado 74HC595.....	39
3.1.6. Circuito Integrado CD4052.....	39
3.1.7. Outros circuitos e componentes utilizados no projeto LCD 16x2.....	41
3.1.8. Amostras de solo para testes e avaliação dos sensores.....	44
3.1.9. Equipamentos utilizados.....	44
3.1.10. Softwares Utilizados.....	44
3.2. PROCEDIMENTO DE OPERAÇÃO E METODOLOGIA DE TESTES.....	45
3.2.1. Procedimento de operação do sistema.....	45
3.2.2. Metodologia para preparo do solo.....	50
3.2.3. Metodologia para medição da umidade no solo após a secagem.....	54
3.2.4. Metodologia para medir o volume de água no reservatório.....	56
4. CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO E TESTES DE CAMPO.....	57
4.1. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA.....	57
4.1.1. Desenvolvimento de Circuito Esquemático.....	57
4.1.2. Sistema de Menus com LCD e Botões de Pulso.....	58
4.1.3. Leitura dos Sensores Capacitivos de Umidade do Solo.....	58
4.1.4. Leitura do Sensor Ultrassônico para volume.....	60
4.1.5. Controle de Acionamento das Cargas.....	61
4.1.6. Regulador de Tensão 7805.....	62
4.2. MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....	62
4.3. RESULTADOS DE PROJETO E DE TESTES.....	65
4.3.1. Avaliação dos Sensores de Umidade utilizados.....	65
4.3.2. Validação do Sensor Ultrassônico.....	66
4.4. CONCLUSÃO PARCIAL.....	70
5. DESENVOLVIMENTO DE MAQUETE E TESTES DE DESEMPENHO.....	71
5.1. DESENVOLVIMENTO DA MAQUETE.....	71
5.2. TESTES DE DESEMPENHO.....	73
5.3. CONCLUSÃO PARCIAL.....	77
6. CONCLUSÕES.....	78
7. TRABALHOS FUTUROS.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXO A – Código fonte em linguagem C.....	83

ANEXO B – Fluxograma de menus do display LCD.....	140
ANEXO C – Metodologia para Cálculo da distância/altura da água presente no reservatório	141
ANEXO D – Modo de operação do CI 74HC595.....	144
ANEXO E – Componentes do sistema de navegação por menus com LCD	146
ANEXO F – Circuito regulador de tensão de +24Vcc para +5Vcc.....	148
ANEXO G – Módulo de relés para acionamento de válvulas e bomba.....	150
ANEXO H – Válvula solenoide e conexões de engate rápido para tubulação de irrigação.	151
ANEXO I – Bomba de irrigação	153
ANEXO J – Alimentação elétrica dos componentes do protótipo	154
ANEXO K – Kit de micro irrigação por gotejamento da Amanco®.....	156
ANEXO L – Resultados completos obtidos com sensores de umidade do solo	157
ANEXO M – Resultados graficamente representados do comportamento dos sensores em função da umidade do solo.....	160
ANEXO N – Resultados obtidos com sensor resistivo de umidade do solo HL-69 (tabela e gráfico)	162
ANEXO O – Gastos com componentes eletroeletrônicos, materiais e instrumentos	164

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com maior reserva de água doce do mundo, graças aos rios amazônicos e os rios voadores, que geram chuva para o Centro-Oeste e Sudeste do país, abastecendo nossa agricultura. Assim, no ranking de países, o Brasil não aparece entre os mais críticos – é apenas o 116º. Ainda assim, quando olhamos para regiões ou cidades específicas, vemos que crises hídricas são um fato. Faltou água nas principais cidades do país: em São Paulo e no Rio de Janeiro (2014-15) e no Distrito Federal (2017-18). No Nordeste, a população enfrentou recentemente uma sequência de 5 anos de seca extrema, agravadas pelas mudanças climáticas.

O ranking do Aqueduct identifica essas áreas principais. Ele mostra que, no Brasil, regiões da Bahia, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte sofrem com níveis “extremamente altos” de risco de crise hídrica, um nível semelhante ao dos países do Oriente Médio. As regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Campinas, Ribeirão Preto e Vitória aparecem com risco “alto”, assim como outras regiões. O mapa da figura 1 mostra a situação. Quanto mais escuro o tom de vermelho, maior o risco. [1]

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), 70% da água consumida no mundo é utilizada para fins de irrigação na agricultura. Só no Brasil, 72% da água consumida é utilizada na irrigação das lavouras [2]. Além disso, métodos ineficientes de irrigação por inundação acabam provocando o desperdício de uma grande quantidade de água por vazamento, infiltração e evaporação.

Com base nisso, e considerando aspectos como o crescimento populacional acelerado e as tendências de consumo, observamos um cenário que converge para uma piora no cenário de escassez de águas próximas décadas. Portanto, se faz necessário investir em metodologias mais eficientes de irrigação, que possibilitem irrigar a mesma área utilizando menos água.

A proposta deste trabalho é apresentar um protótipo de um sistema para avaliação da umidade do solo visando automatização de irrigação, com o objetivo de promover uma irrigação eficiente, econômica e automatizada.



Figura 1 - Mapa do Brasil e as suas respectivas zonas de risco hídrico.

Fonte: 1 - World ResourcesInstitute

1.1. OBJETIVOS

Pretende-se alcançar com o a realização deste trabalho, uma integração dos conhecimentos adquiridos ao longo o curso, fazendo uso das técnicas e ferramentas adequadas para desenvolver e implementar um sistema que solucione uma necessidade específica.

1.1.1. GERAL

Compreender as necessidades básicas e o funcionamento de um sistema de irrigação. Projetar e integrar circuitos para realizar a avaliação da umidade do solo visando automatização de irrigação. Desenvolver um protótipo composto de maquete e uma placa de circuito para demonstração de funcionamento.

1.1.2.ESPECÍFICO

Deseja-se projetar um sistema que seja capaz de avaliar o teor de umidade do solo utilizando sensores capacitivos de umidade do solo de modo a permitir a irrigação automatizada. O sistema deverá possuir válvulas e uma bomba de irrigação para permitir o controle do processo. Um sistema de navegação por display LCD e botões permitirá realizar o monitoramento da umidade do solo, e configurar parâmetros de controle de umidade através de funções de setpoint (quando irrigar) e histerese (quando parar de irrigar). Um sensor ultrassônico será utilizado para estimar o volume de água presente no reservatório de abastecimento, permitindo monitorar através do display LCD o volume percentual de água, além de configurar parâmetros de setpoint (quando desligar) e histerese (quando religar) para proteção da bomba de irrigação. As funcionalidades do sistema serão obtidas através da programação de um microcontrolador PIC utilizando linguagem C, o qual realizará o tratamento de todos os sinais de entrada (sinais de botões e sensores) e saída (válvulas e bombas) do sistema. Ao fim do projeto, deverá ser construída uma maquete que permita realizar os testes de desempenho do sistema proposto.

1.2.JUSTIFICATIVA

O trabalho visa obter, do ponto de vista da eletrônica industrial, um sistema para avaliação da umidade do solo visando automatização de irrigação, que proporcione eficiência e economia de recursos, utilizando para isso, conhecimentos de eletrônica digital, eletrônica analógica, microcontroladores, programação, dentre tantos outros conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

Este trabalho não só permitirá aos integrantes do grupo integrar os diversos conhecimentos adquiridos, como também possibilitará desenvolver habilidades relacionadas ao desenvolvimento de soluções para demandas atuais.

1.3.METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos preestabelecidos foram realizadas pesquisas bibliográficas abordando os temas de desperdício de água na agricultura, métodos de irrigação e determinação de matéria seca e umidade gravimétrica do solo. Com isso, foi modelado um protótipo para avaliação da umidade do solo utilizando sensores capacitivos de umidade, gerando discussões acerca de sua aplicabilidade e funcionalidade, além de experimentações para avaliação do comportamento destes sensores. Por fim, foi desenvolvido um protótipo de circuito eletrônico com microcontrolador para tratar os sinais dos sensores capacitivos de

umidade do solo, em conjunto com funcionalidades secundárias, obtendo-se um sistema para avaliação da umidade do solo que permitiu a automatização de irrigação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta conceitos importantes para uma melhor compreensão do projeto aqui proposto. As aplicações destes conceitos serão melhor detalhadas no capítulo 3, que trata dos materiais específicos utilizados no projeto.

2.1. IRRIGAÇÃO

De acordo com IRRIGAÇÃO (2014), conforme citado por SANTOS, Lorena Beatriz (2014, p. 29) [3]:

Irrigação é uma técnica utilizada na agricultura e tem por objetivo o fornecimento controlado de água para as plantas em quantidade suficiente e no momento certo, assegurando a produtividade e a sobrevivência da plantação.

Com isso, é possível perceber a importância de um processo de irrigação adequado, visando atender as necessidades gerais de produção. Porém, de acordo com José Antônio Frizzone (ESALQ/USP. 2017) [4]:

Existem, basicamente, quatro métodos de irrigação: (a) irrigação por aspersão, (b) micro irrigação, ou irrigação localizada, (c) irrigação por superfície e (d) irrigação subterrânea. Os conceitos básicos destes métodos são explicados a seguir.

2.1.1. Irrigação por Superfície

Distribuem a água através da superfície do solo, permitindo um escoamento contínuo sem causar erosão. O escoamento superficial é afetado por variáveis como declividade, rugosidade da superfície e diferenças entre vazão de entrada e infiltração acumulada.

De modo geral, a irrigação por superfície contempla três sistemas, que são descritos a seguir.

2.1.1.1. Irrigação por Sulcos

Irrigação através de sulcos ao lado das linhas de cultivo por tempo suficiente para infiltração no solo. Com isso, há uma redução nas perdas por evaporação. A Figura 2 ilustra um exemplo do método de irrigação por sulcos.

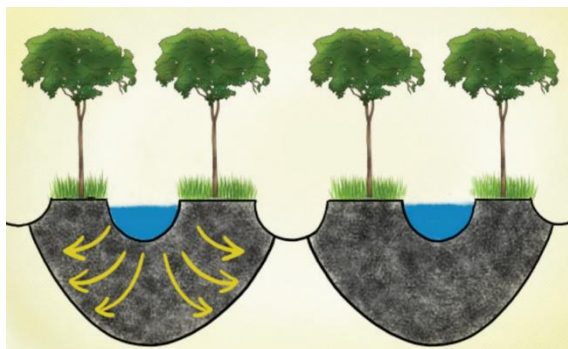


Figura 2 - Método de irrigação por sulcos

Fonte: 2 - © 2019, SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR

2.1.1.2. Irrigação por Faixas

Inundação total de água na superfície do solo por tempo suficiente para aplicar a quantidade de água necessária à irrigação. A Figura 3 ilustra um exemplo do método de irrigação por faixas.

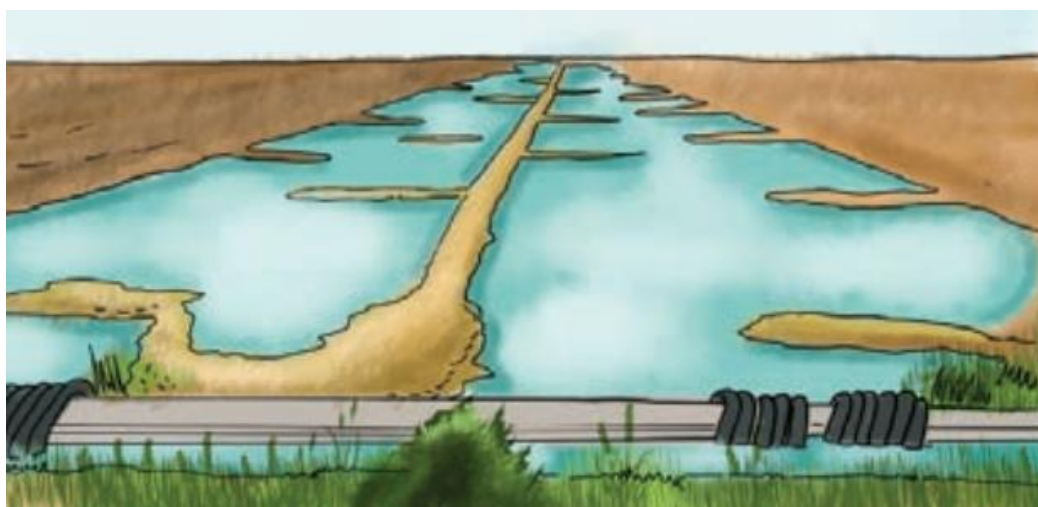


Figura 3– Método de Irrigação por Faixas

Fonte: 3 - © 2019, SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR

Nesse sistema, a água é aplicada individualmente em cada faixa por estruturas hidráulicas ou sifões. Quando a água é retirada da faixa, o volume acumulado sobre a superfície do solo avança para a parte mais baixa do terreno, infiltrando-se e permitindo aplicação da lâmina de irrigação.

2.1.1.3. Irrigação por Inundação

Inundação total de água na superfície do solo por contenção. Através de diques ou taipas, o escoamento superficial é impedido e permite criar uma área inundada chamada de bacia ou tabuleiro.

É uma das formas mais comuns de irrigação, recomendada para cultivos de raízes profundas e com pequeno espaçamento entre as plantas. A Figura 4 ilustra um exemplo do método de irrigação por inundação.



Figura 4 – Método de Irrigação Por Inundação

Fonte: 4 - © 2019, SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR

2.1.2. Irrigação por Aspersão

A irrigação por aspersão é um dos métodos mais utilizados em todo o mundo, devido, principalmente, a sua facilidade de adaptação aos mais diferentes tipos de solo. São usados aspersores que fornecem água ao solo e plantas da mesma maneira que as chuvas.

Entre as vantagens da irrigação por aspersão destacam-se, a cobertura completa da plantação, o fato de não causar erosões no solo e por último, a possibilidade de irrigação o plantio a qualquer horário do dia. A Figura 5 mostra um exemplo do método de irrigação por aspersão.



Figura 5 – Irrigação por Aspersão

Fonte: 5 - Blog Aegro

Entre as desvantagens, elevado custo inicial, perdas com evaporação e possível proliferação de ervas daninhas devido ao fato de o sistema irrigar todo o terreno e não apenas os cultivos.

2.1.3. Irrigação Subterrânea

De acordo com ROBBINS; VINCHESI, (2011), conforme citado por José Antônio Frizzone (ESALQ/USP. 2017) [4]:

A irrigação subterrânea, também chamada de subirrigação e drenagem controlada, é um método que consiste na aplicação de água diretamente na subsuperfície do solo, geralmente pela formação, manutenção e controle de um lençol de água artificial ou pelo controle de um natural, mantendo-o a uma profundidade conveniente. Por ascensão capilar, o lençol d'água, usualmente mantido a uma profundidade de 0,30 a 0,80 m, propicia a umidade necessária às raízes das plantas.

Além disso, de acordo com BERNARDO, SOARES; MANTOVANI, (2008), conforme citado por José Antônio Frizzone (ESALQ/USP. 2017) [4]:

Este método de irrigação só pode ser usado em condições muito especiais, sendo necessário que se atenda aos seguintes requisitos

- (a) o terreno a ser irrigado deve ser plano e sua superfície uniforme;
- (b) deve haver uma camada permeável (areia, solo orgânico, ou solo argiloso estruturado) imediatamente abaixo da superfície do solo a fim de permitir rápido movimento lateral e vertical da água;
- (c) para reduzir as perdas de água por percolação, abaixo da camada permeável (aproximadamente a 1,5 m de profundidade) deve estar uma camada impermeável e o lençol de água natural;
- (d) deve haver um adequado suprimento de água livre de sais durante o período de irrigação e deve-se ter cuidado no manejo dessa água para evitar que o solo se torne salino;
- (e) o sistema de distribuição de água deve permitir que o nível do lençol d'água seja levantado e mantido a uma profundidade uniforme e que haja uma saída adequada da água de drenagem.

2.1.4. Irrigação Localizada

De acordo com LAMM; CAMP, (2007), conforme citado por José Antônio Frizzone (ESALQ/USP. 2017) [4]:

A irrigação localizada ou micro irrigação, compreende a aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada, em alta frequência e baixo volume, mantendo o solo, na zona radicular das plantas, com alto regime de umidade. Em cultivos perenes, a área máxima molhada não deve superar 60 % da área total cultivada, enquanto que a área mínima molhada deve ser aproximadamente 20% nas regiões de clima úmido e 30% nas de clima árido e semiárido. A área de solo molhado exposta à atmosfera fica, assim, bastante reduzida, o que reduz a perda de água por evaporação direta do solo.

Um exemplo de irrigação localizada pode ser observado na Figura 6.



Figura 6 – Irrigação Localizada

Fonte: 6 - Boas Práticas Agronômicas (BOAS)

Conforme explicado por FRIZONE, José Antônio (2017) [4]:

Da mesma forma que os outros métodos de irrigação, a micro irrigação não se ajusta a todos os objetivos e condições de solo, planta, clima, topografia e água. O seu maior potencial de uso ocorre quando (a) a água é cara e sua disponibilidade é limitada; (b) o solo é arenoso, pedregoso e a topografia irregular; (c) a cultura é de alto valor econômico, muito sensível a pequenas variações de umidade do solo e exige doses frequentes de fertilizantes, uma vez que o método facilita a fertirrigação.

Dentro desse contexto, é necessário analisar de maneira isolada diversos aspectos como tipo de solo, clima, relevo, qualidade da água, tipo de cultura, disponibilidade de energia e condições socioeconômicas, para então determinar qual o melhor tipo de sistema a ser empregado para realizar a irrigação de uma determinada área.

2.1.5. Escolha do Método

Uma vez determinado o método de irrigação a ser utilizado, é possível empregar tecnologias capazes de otimizar o processo de irrigação do sistema adotado.

Atentos a essa necessidade, propomos com este trabalho, o desenvolvimento de um protótipo de sistema de monitoramento e controle microcontrolado capaz de fornecer a quantidade de água ideal no momento adequado.

Por questões práticas relacionadas ao porte do sistema, facilidade de demonstração e custo de desenvolvimento, além das características de maior economia e eficiência no aproveitamento de água, o método de irrigação localizada com sistema de gotejamento foi escolhido para servir como base para o desenvolvimento do protótipo, o qual contemplará uma maquete demonstrativa integrada ao sistema de monitoramento e controle proposto.

2.2. DISPOSITIVOS PARA CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS E CIRCUITOS ELETRÔNICOS

Este item resume os principais dispositivos eletrônicos que podem ser empregados na construção de protótipos de equipamentos, protótipos estes que podem ser utilizados para o início do desenvolvimento de equipamentos mais complexos.

2.2.1. Dispositivo Microcontrolador e o modelo PIC

Microcontroladores são “pequenos componentes eletrônicos, dotado de uma “inteligência” programável, utilizado no controle de processos lógicos” [11].

Possui uma CPU, conversores de sinais analógicos/digitais (A/D) e digitais/analógicos (D/A), memórias ROM e RAM, e portas de entrada e saída capazes de realizar leituras de entradas digitais e analógicas, bem como atuar saídas com sinais digitais e analógicos. Para isso, o mesmo possui internamente uma Unidade Lógica Aritmética (ULA), que permite que o microcontrolador realize as operações necessárias para o devido tratamento dos sinais de entrada e saída.

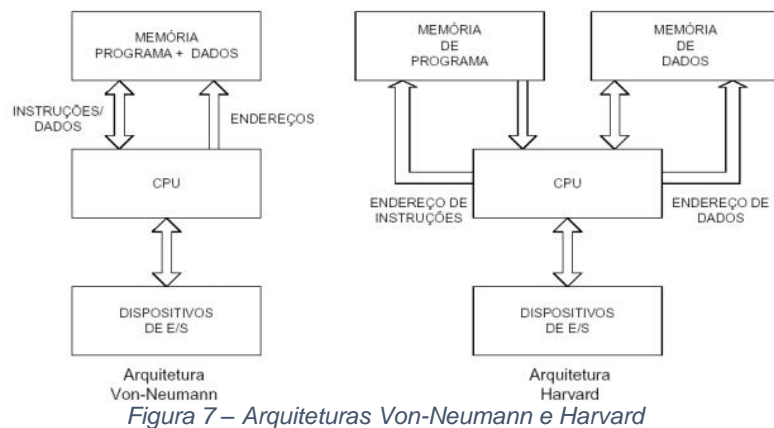
A forma como esses sinais são tratados é definida através de programação em uma ou mais linguagens (C, C++, Assembly, Pascal, etc) a depender do fabricante, modelo e compilador utilizado.

Já os microcontroladores PIC são circuitos integrados produzidos pela empresa Microchip Technology, e constituem uma enorme gama de microcontroladores para as mais diversas aplicações.

Existem duas arquiteturas clássicas para os microprocessadores em geral: a arquitetura Von-Neumann, onde existe apenas um barramento interno por onde circulam instruções e dados e a arquitetura Harvard, que é caracterizada por dois barramentos internos, sendo um de

instruções e outro de dados. Pode-se dizer que a primeira é uma arquitetura serial e a segunda paralela; da mesma forma, pode-se dizer que a arquitetura Von-Neumann permite produzir um conjunto complexo de código de instruções para o processador (CISC – Complex Instructions Set Computer), com um tempo de execução por instrução de vários ciclos de clock. Já a arquitetura Harvard produz um conjunto simples de códigos de instruções e, dado ao paralelismo de sua estrutura, é capaz de executar apenas uma instrução por ciclo de clock. [5]

Os microcontroladores PIC em específico trabalham com arquitetura Harvard, o que confere um melhor desempenho ao mesmo em relação aos demais microcontroladores. A Figura 7 mostra uma comparação entre as duas arquiteturas.



Fonte: 7 - https://wiki.sj.ifsc.edu.br/index.php/MCO018703_2020_2_AULA01

2.2.2. Características Principais dos microcontroladores PIC

Um microcontrolador PIC bastante utilizado em sistemas de monitoramento e controle é o PIC18F4550. Com encapsulamento PDIP (*Plastic Dual In-Line Package*), este microcontrolador pertence à família 18F da Microchip Technology, com disposição dos pinos conforme mostrado na Figura 8

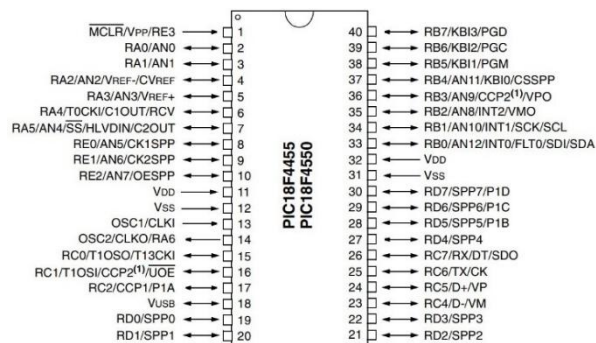


Figura 8 - Pinagem do PIC18F4550

Fonte: 8 – Datasheet do Componente

Possui tensão de alimentação máxima de 5,5V, memória flash de 32KB, memória RAM de 2048 Bytes, memória EEPROM de 256 Bytes e temperatura de operação de -40°C a 85°C. Dessa forma, por possuir alto valor de memórias flash e RAM, se torna ideal para aplicações de monitoramento. A programação deste PIC é realizada através de linguagem de programação de alto nível e, mais especificamente, linguagem C no caso deste projeto. Também possui 20 fontes de interrupção (internas ou externas), 5 I/O ports (A, B, C, D, e E), 4 temporizadores/contadores, 1 módulo CCP (captura, comparação e PWM) e conversor A/D de 10 bits com 13 canais de entrada. Na Figura 9 é possível observar uma representação resumida da arquitetura interna do PIC18F4550:

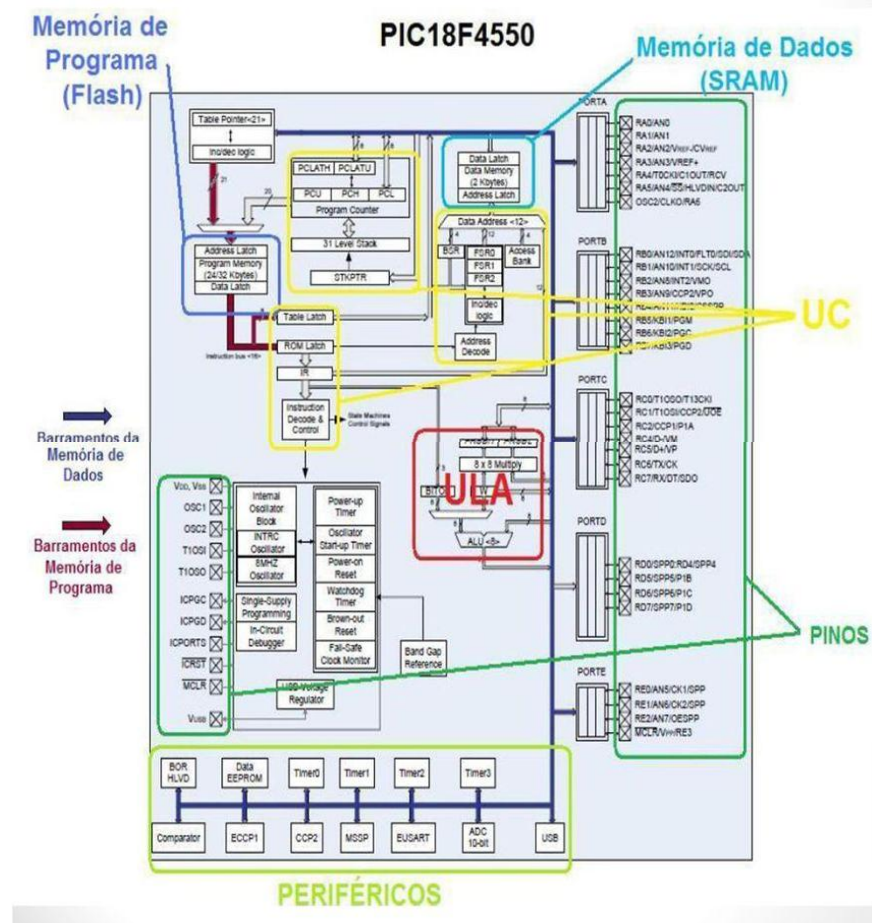


Figura 9 – Arquitetura Interna PIC18F4550

Fonte: 9 - <http://www.decom.ufop.br/alex/arquivos/bcc425/slides/PIC18f4550.pdf>

Possui diversas outras funcionalidades, porém, serão exploradas apenas as que se aplicam ao projeto proposto.

2.2.3.I/O Ports

O PIC18F4550 possui 5 “ports” de entrada e saída (A, B, C, D e E), e alguns pinos são multiplexados com funções alternativas de periféricos do microcontrolador. De modo geral, quando um periférico é habilitado, o respectivo pino não pode ser utilizado com um simples pino de I/O.

Cada port possui três registradores associados, dos quais se destacam os registradores TRIS (registrador de direção de dados) e PORT (leitura de nível lógico nos pinos do microcontrolador).

2.2.4.Conversor A/D

Possui também um módulo conversor analógico-digital com 13 entradas, que permite converter um sinal de entrada analógico em um sinal digital de 10 bits correspondente

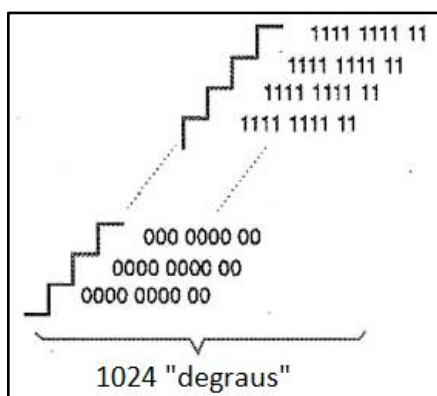


Figura 10 – Amostragem de Sinal com Conversor A/D de 10 Bits

Fonte: 10 – Autoria Própria

Conforme a Figura 10, para um certo sinal analógico de tensão na entrada, o conversor A/D do PIC faz uma amostragem desse sinal, convertendo cada valor de tensão em um valor binário correspondente (dividindo o sinal lido em degraus).

No caso do PIC18F4550, por ser um conversor A/D de 10 bits, o sinal é dividido em 1024 degraus, apresentando uma leitura analógica na saída do conversor A/D que varia de 0 a 1023.

Através dessa conversão, é possível realizar o tratamento de sinais analógicos dos mais diversos tipos de sensores, permitindo monitorar e controlar processos que envolvam variáveis como temperatura, pressão, umidade, nível de líquidos, etc.

2.2.5.Interrupções

Possuindo 20 fontes de interrupção (internas ou externas), quando uma interrupção é configurada através da programação, pode ser ativada de acordo com a resposta de temporizadores, contadores de pulsos, botões externos, e diversas outras formas.

A interrupção evita que o PIC faça uma verificação constante de determinadas variáveis, sinais ou condições, permitindo que uma determinada instrução seja executada apenas quando solicitada (quando gerada uma interrupção), retomando a execução normal da varredura ao término da mesma.

2.2.6.Memórias RAM, ROM e EEPROM em microcontroladores e no PIC18F4550

Os microcontroladores, sejam eles Atmega, PIC ou de outro tipo, possuem dois tipos básicos de memória, variando em capacidade de acordo com o microcontrolador escolhido.

As memórias RAM (*Random Access Memory*) é uma memória volátil que permite armazenar e acessar temporariamente os dados do microcontrolador, sendo perdida quando o PIC for desligado ou resetado.

As memórias ROM (*Read-Only Memory*) possuem a característica de reter dados mesmo na ausência de alimentação elétrica ou memória de programa.

A EEPROM (*Electrically-ErasableProgrammableRead-Only Memory*) é uma memória que permite ser gravada eletricamente, e em posições específicas da memória, conservando os dados armazenados nas demais posições.

O PIC possui uma memória EEPROM de 256 bytes, permitindo armazenar dados em até 256 posições da memória, sendo que esses dados não são perdidos ao desligar/resetar o microcontrolador.

2.3. SENSORES

Sensores podem ser definidos como dispositivos que reagem a um determinado sinal externo recebido, e traduz a variação deste sinal em uma grandeza elétrica proporcional. Desse modo, existem diversos tipos diferentes de sensores, assim como diversos tipos de sinais elétricos oferecidos pelos mesmos. Em controle de processos industriais por exemplo, existem sensores que convertem grandezas para sinais de tensão (0 a 5V, 0 a 10V), corrente (0 a 20mA, 4 a 20mA), entre outros sinais.

Em outras aplicações na eletrônica, é comum encontrarmos sensores que traduzem variações de uma determinada grandeza em sinais bastante pequenos, como por exemplo alguns sensores de temperatura, que traduzem as variações de temperatura em níveis de tensão da ordem de milivolts. Portanto, os sensores devem ser especificados de acordo com as necessidades da aplicação, mas sempre levando em conta o tipo de sinal que o sensor irá gerar, utilizando o melhor sistema para tratar esse sinal.

Neste projeto serão utilizados dois tipos de sensores: Sensores de umidade do solo, e sensor ultrassônico. Suas características e princípio de funcionamento serão melhor detalhadas no capítulo 3 que trata dos materiais utilizados neste projeto.

2.3.1. Sensores de Umidade do Solo

De acordo com SOUZA, Mendes de (2006), conforme citado por CARVALHO, Matheus Souza de (2016) [6]:

Sensor é um dispositivo que gera uma grandeza no domínio da eletricidade que pode ser utilizada como medida de um parâmetro físico, químico ou biológico. No caso do sensor de umidade, informações de grandezas no domínio da eletricidade representam a medida de umidade no solo.

Ainda de acordo com SOUZA, Mendes de (2006), conforme citado por CARVALHO, Matheus Souza de (2016) [6]:

Podemos classificar os métodos de medição de umidade do solo em duas categorias: diretos ou indiretos. O método direto consiste em obter uma amostra do solo, retirar toda a água contida nesta amostra e quantificar o volume de água retirado. O método indireto utiliza propriedades físicas (capacitância, resistência elétrica, pressão e etc.) que variam de acordo com a quantidade de água presente no solo.

Com isso, sensores de umidade do solo são componentes de grande importância para aplicações em sistemas de irrigação automatizados.

2.3.2. Sensores de Nível

Dentre diversas variáveis de processo que podem ser monitoradas e controladas, o nível possui grande importância.

O nível é definido como a altura do conteúdo sólido ou líquido de um reservatório. Sendo assim, monitorar o nível e um reservatório pode proporcionar diversas vantagens, tais como:

- Evitar interrupções por falta de abastecimento
- Evitar transbordamentos
- Possibilitar avaliação de estoque e consumo

O monitoramento é feito através de sensores capazes de detectar as variações da altura de um reservatório, podendo ser de forma digital, como por exemplo um sensor de nível tipo boia que apenas indica a presença ou não de água, ou analógica, como um sensor ultrassônico que permite monitorar a variação da quantidade de água.

2.3.3. Nível em Sistemas de Irrigação

De acordo com COELHO, Eugenio Ferreira (et al. – 2017) [7]:

Os sistemas de irrigação que funcionam por gravidade são os que não precisam de conjunto moto bomba para fazer o sistema funcionar e a água chegar às plantas. Nesse caso, a água do rio, córrego, lagoa ou represa deve ficar numa posição acima da área que vai ser irrigada, de forma que a água desça para a área e ganhe pressão pela força da gravidade. A terra não pode ser arenosa e de preferência deve ser mais argilosa ou barrenta.

Isso significa que dependendo das características do sistema de irrigação, pode não ser necessário o uso de um reservatório nem de bomba, eliminando a necessidade de qualquer tipo de monitoramento ou controle de volume.

Porém, de acordo com COELHO, Eugenio Ferreira (et al. – 2017): [7]:

O conjunto motobomba poderá ser utilizado tanto para o acionamento direto dos aspersores, gotejadores ou micro aspersores, quanto para encher reservatórios, quando os emissores são acionados com água derivada dos reservatórios por gravidade.

Sendo assim, tanto em sistemas de irrigação por gravidade quanto em sistemas bombeados, pode ser interessante realizar o monitoramento de nível de um reservatório quando houver, permitindo por exemplo, verificar a quantidade de água disponível, acompanhar o consumo em determinados espaços de tempo, além de permitir uma proteção automatizada da bomba.

2.4. OUTROS CIRCUITOS ELETRÔNICOS QUE PODEM COMPOR PROJETOS DE EQUIPAMENTOS – REGISTRADOR DE DESLOCAMENTO (SHIFT REGISTER) E MULTIPLEXADOR

Alguns projetos podem exigir outros módulos/circuitos eletrônicos para viabilidade da operação. Dois destes circuitos foram utilizados e são descritos neste texto, o circuito Registrador de Deslocamento (*Shift Register*) e Multiplexador.

Registrador de Deslocamento é um circuito lógico da classe dos sequenciais. Através de circuitos sequenciais é possível controlar saídas digitais não apenas em função de variáveis de entrada, mas também de seus estados anteriores que continuam armazenados, sendo normalmente controlados por pulsos de clock.

Existem diversos tipos de circuitos sequenciais chamados de flip-flops, como por exemplo flip-flop RS, flip-flop RS com entrada de clock, flip-flop JK, flip-flop tipo D, entre outros. O flip-flop tipo D (dado ou “data” do inglês) possui a capacidade de transferir para a saída o sinal digital aplicado na entrada (controlado por pulsos de clock) e armazenar esse dado, possuindo um efeito de memória. Devido a essa capacidade, o flip-flop tipo D é utilizado como base para a construção de registradores de deslocamento ou shift-registers. A Figura 11 mostra um diagrama de tempo de um flip-flop tipo D.

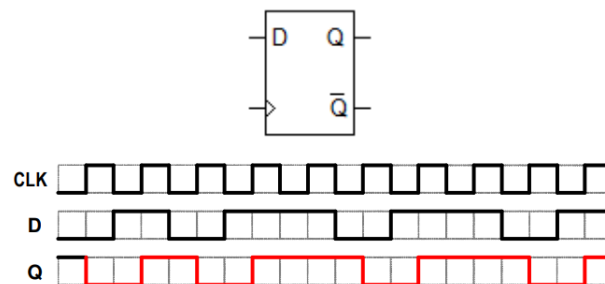


Figura 11 – Diagrama de tempo de um flip-flop Tipo D

Fonte: 11 – Material da Disciplina Sistemas Digitais I – Professor Dr. Roberto Katsuhiro

Um registrador de deslocamento, por sua vez, é obtido através da combinação de vários flip-flops tipo D em cascata, permitindo armazenar um bit para cada saída do flip-flop.

A Figura 12 mostra uma série de flip-flops tipo D em cascata, constituindo um registrador de deslocamento.

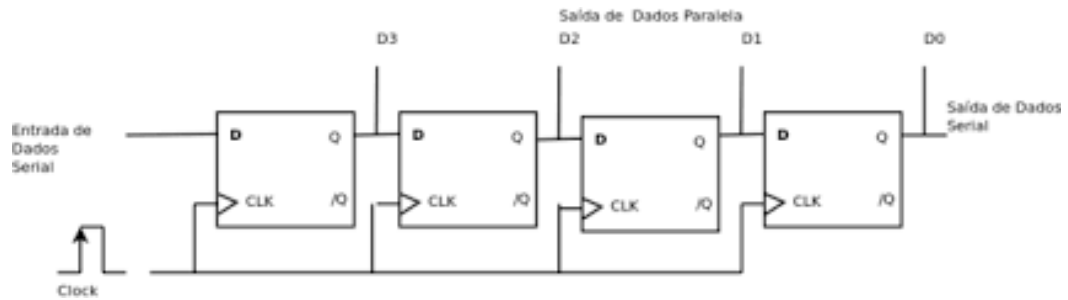


Figura 12 – Registrador de deslocamento composto por flip-flops tipo D em cascata

Fonte: 12 – http://wiki.foz.ifpr.edu.br/wiki/index.php/Registadores_de_Deslocamento

O registrador de deslocamento pode ser do tipo série-paralelo (dados de entrada inseridos em série e saída recolhida de modo paralelo) ou do tipo paralelo-série (dados de entrada em modo paralelo e recolhidos na saída em série).

Já o multiplexador é um circuito lógico capaz de receber vários sinais de entrada e selecionar qual sinal será enviado para a saída, sendo esta seleção realizada por meio de bits de endereçamento, conforme mostra a Figura 13:

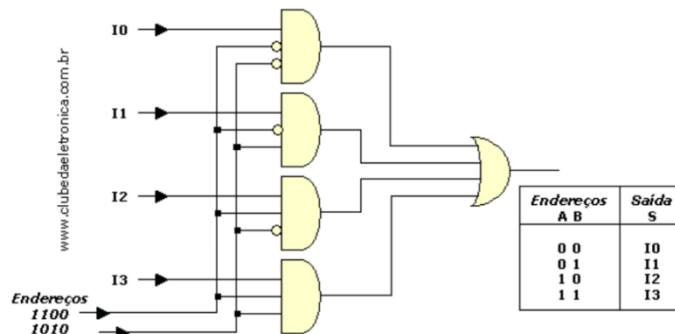


Figura 13 – Circuito multiplexador

Fonte: 13 – www.clubedaeletronica.com.br

Os sinais aplicados nas entradas dos multiplexadores podem ser analógicos e/ou digitais, a depender do circuito utilizado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais utilizados na confecção deste projeto, bem como a metodologia adotada para obtenção do resultado final.

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1. Microcontrolador PIC 18F4550

A princípio, seria utilizado o microcontrolador PIC16F877A para o desenvolvimento deste projeto, porém, devido à suas limitações de capacidade de memória e processamento, foi utilizado o PIC18F4550, que é popular em aplicações com sistemas de monitoramento e controle de processos, graças as suas características atrativas de armazenamento e processamento. Na Figura 14 são apresentadas algumas especificações do PIC18F4550.

- Interface USB 2.0 (12Mbit/s)
- 1K byte para dual Port RAM + 1K byte GP RAM
- Transceiver "Full Speed"
- 16 Endpoints (IN/OUT)
- Porta de comunicação externa
- Pull Up de resistores interno (D+/D-)
- 48 MHz de performance (12 MIPS)
- Pino a pino compatível com os PIC16C7X5
- Memória de programa tipo Flash
- Memória de programa com 32 KB
- CPU com velocidade de 12 (MIPS/DMIPS)
- SRAM com 2048 bytes
- EEPROM/HEF (bytes) com 256 bytes para dados
- Portas de comunicações 1-UART, 1-SPI, 1-I2C1-MSSP(SPI/I2C)
- módulo interno de captura/Comparação e PWM:1 CCP, 1 ECCP,
- Timers: 1 x 8-bit, 3 x 16-bit
- ADC Input: 13 ch, 10-bit
- 2 Comparadores internos
- Numero de módulos USB: 1, FS Device
- Temperature de operação -40 a +85 graus Celsius
- Tensão de operação de 2 a 5,5V
- 40 pinos

Figura 14 – Especificações PIC18F4550

Fonte: 14 - <https://www.soldafria.com.br/microcontrolador-pic18f4550>

Possuindo 40 pinos, este PIC pode trabalhar com tensões de 2 a 5,5V, e oferece 33 pinos de I/O disponíveis, dos quais 13 estão disponíveis para trabalhar como entrada

analógica.É programável através de diversos compiladores tais como mkroC, CCS e MPLAB, assim como diversas linguagens como C, C++, Assembly, entre outras.

A gravação do código é realizada através de circuitos específicos de gravação, sendo mais comum entre estudantes e entusiastas a utilização de dispositivos de gravação comercializados no mercado, que permitem a gravação via conexão USB.

3.1.2. Gravadores mais utilizados para PIC - PicKit3

Um dos gravadores mais utilizados no PIC é o PicKit, desenvolvido pela própria Microchip, fabricante do PIC.Para a gravação dos programas desenvolvidos para este projeto, foi utilizado o PicKit3, dispositivo capaz de ler, gravar, limpar, e alimentar o microcontrolador PIC.

Sua conexão é feita através de cabo USB com um computador, e a interface é realizada pelo software PicKit3 Programmer, também disponibilizado pela fabricante.

3.1.3. Sensores de Umidade do Solo

Dentre diversos modelos de sensores de umidade do solo, dois tipos de sensores são mais comuns e foram testados neste trabalho. Estes são apresentados a seguir.

3.1.3.1.Sensor de Umidade do Solo – modelo resistivo HL-69

Bastante conhecido na área de projetos com microcontroladores, este sensor de umidade do solo é constituído basicamente de duas hastes metalizadas e isoladas entre si, além de um circuito comparador de tensão.Ao ser instalado no solo, mediante alimentação elétrica nominal do sensor com 5V em corrente contínua, uma corrente elétrica irá percorrer as hastes e gerar uma diferença de potencial que será proporcional a resistividade do solo. Desse modo, há uma tensão analógica que varia de acordo com a umidade presente no solo, sendo que quanto menor a umidade do solo, maior a tensão fornecida na saída analógica do circuito comparador (pino A0).

A Figura 15 apresenta o sensor de umidade do solo resistivo e um exemplo do circuito comparador de tensão que o compõe.

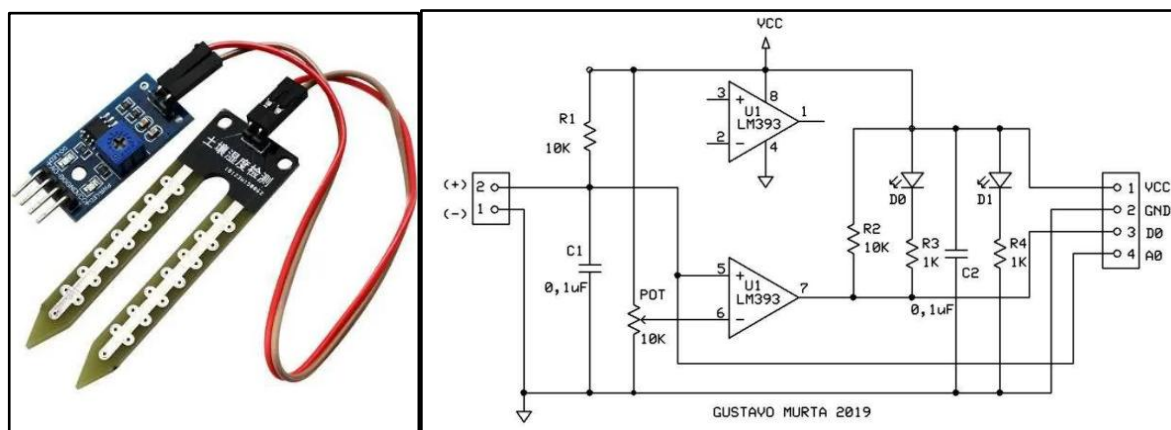


Figura 15 – Sensor resistivo de umidade do solo (esquerda) e seu circuito comparador de tensão (direita)

Fonte: 15 – <https://blog.eletrogate.com/guia-do-sensor-de-umidade-do-solo-e-sensor-de-chuva/>

Inicialmente, este sensor foi adotado para implementar o sistema proposto, porém, há relatos de que este sensor possui um inconveniente relacionado à corrosão dos terminais metálicos com pouco tempo de uso (cerca de 2 meses). Isso poderia acarretar em uma perda de confiabilidade do sensor no curto prazo.

Diante disso, e considerando a necessidade de se realizarem diversos testes no sistema proposto em diferentes momentos, optou-se por interromper o uso deste modelo de sensor, visando preservar a reprodutibilidade dos resultados de testes realizados em diferentes momentos.

3.1.3.2. Sensor de Umidade do Solo – modelo capacitivo CS12

Conforme citado por CRUZ, Tadeu M. L. (et al. - 2010) [8], de acordo com GARDNER et al. (1998):

A técnica da capacitância elétrica é um método capaz de medir a permissividade dielétrica no solo, podendo ser usada frequentemente para medições do seu conteúdo de água. Todavia, o efeito da temperatura em sensores, utilizados para quantificar o teor de água do solo, já foi reportado por COELHO & TEIXEIRA (2004), que explicaram a ocorrência de oscilações nas respostas dos sensores, quando expostos às flutuações de temperatura. Do mesmo modo, SILVA et al. (2005) relatam que a temperatura ambiente ocasiona variações nas respostas dos sensores capacitivos, explicando que a incidência da temperatura na constante dielétrica e nos componentes passivos (resistores e capacitores) é a possível causa dessas variações.

Para atender à demanda de usuários que necessitam de um sensor de umidade do solo mais resistente a corrosão, existe o modelo capacitivo CS12, também amplamente comercializado, e é assim chamado pois consegue quantificar a variação da umidade do solo por detectar variação de sua capacitância. Em sua construção, mostrada esquematicamente na Figura 16, dois eletrodos com certa distância entre si são revestidos com um material

dielétrico ao redor deles, caracterizando a formação de duas placas condutoras paralelas, assim como um capacitor. Assim, o material dielétrico não preenche todo o espaço entre os eletrodos, de modo que esse espaço possa ser preenchido pelo solo a ser monitorado. Dessa forma, o solo úmido faz a função de material dielétrico e a quantidade de água altera a constante dielétrica no capacitor.

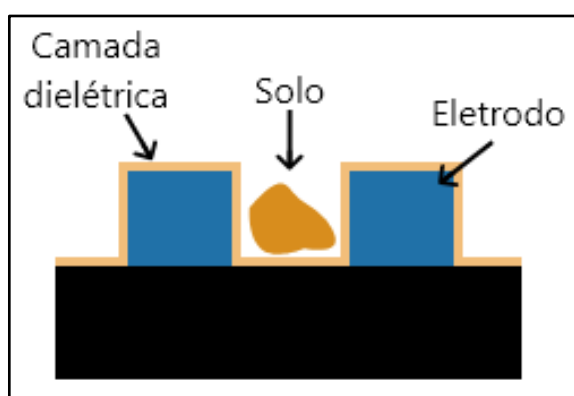


Figura 16 – Esquema de construção do sensor capacitivo de umidade do solo

Fonte: 16 - <https://mundoprojetado.com.br/sensor-de-umidade-capacitivo-para-solo/>

Vale ressaltar que há uma carência de informações relativas à construção e funcionamento deste sensor, tornando difícil um aprofundamento imediato na análise do mesmo. Porém, a Figura 17 permite ter uma melhor ideia da construção deste sensor.

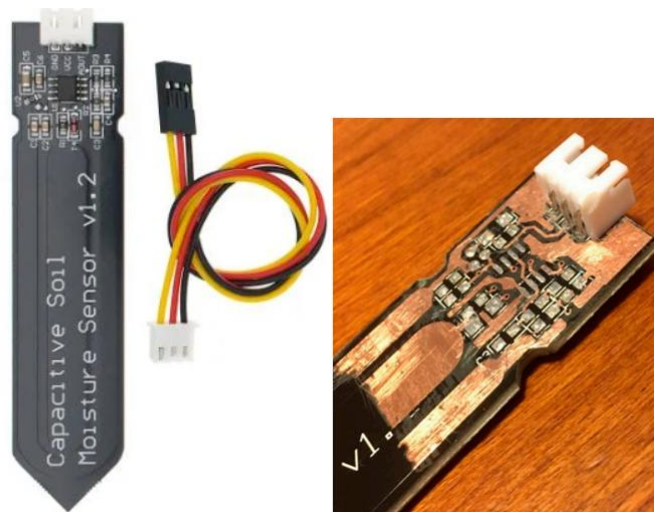


Figura 17 – Sensor capacitivo de umidade do solo CS12 v1.2 (lado esquerdo) e construção interna do sensor (lado direito)

Fonte: 17 – <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/12/3585>

O sensor possui 3 pinos. Os pinos GND e VCC são para alimentação que pode variar entre 3,3Vcc e 5Vcc. Já o pino AOUT fornece um sinal analógico de 0Vcc a 3Vcc, que varia de acordo com a umidade. Seu consumo de corrente é da ordem de 5mA.

Neste projeto foram utilizados três sensores CS12, mas este número pode ser ampliado.

3.1.4. Sensor Ultrassônico para Medição de Volume de Água

Levando em conta que um sistema de irrigação possa ser beneficiado com o monitoramento de volume de água, foi acrescentada no presente projeto a função de monitoramento de volume de um reservatório de água. Dessa forma, considerando um sistema em que o reservatório não fique acima da área irrigada, e que exista uma bomba para transportar a água do reservatório até os irrigadores, o monitoramento do volume permitirá acompanhar o consumo de água durante a irrigação, além de garantir a proteção da bomba de irrigação em caso de volume baixo de água, desligando a bomba caso haja volume de água abaixo do percentual ajustado, e permitindo religá-la caso retorne ao volume definido.

Para isso, foi utilizado o sensor ultrassônico HC-SR04, presente nas mais diversas aplicações envolvendo microcontroladores.

Seu princípio de funcionamento se baseia na emissão de ondas de ultrassom, cujas frequências se encontram acima do espectro audível do ser humano (acima de 20 kHz). Com o envio de sinais de ultrassom, é possível detectar a existência de obstáculos e ainda medir a distância do mesmo em relação ao sensor.

Este sensor possui um transmissor responsável por enviar sinais de ultrassom na direção que estiver apontando, e um receptor que capta o retorno do sinal ultrassônico que atinge o objeto, conforme mostrado na Figura 18.

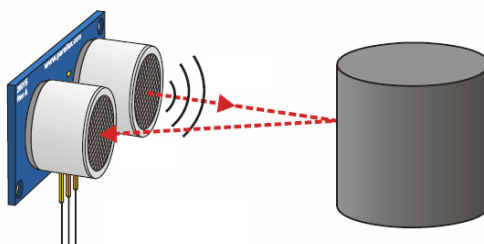


Figura 18–Sensor ultrassônico HC-SR04

Possui 4 pinos, sendo Vcc e Gnd para alimentação de 5Vcc, Trig para receber pulsos de comando para emitir um sinal, e Echo para emitir um pulso de saída proporcional a distância do sensor ao obstáculo.

Dessa forma, através do tratamento do sinal do sensor utilizando um microcontrolador, é possível medir o tempo que leva para o sinal de ultrassom ir até o obstáculo e retornar para o receptor, e, desta forma, determinar a altura da água presente no reservatório (mais detalhes da estimativa da distância podem ser consultados no Anexo C).

3.1.5. Circuito Integrado 74HC595

O projeto proposto prevê três grupos de cultivo e, portanto, necessita de apenas três válvulas e uma bomba para esta operação. Porém, o sistema foi pensado para ser expandido com facilidade no caso de ser necessário acionar mais válvulas. O que ocorre é que a expansão não é direta devido a quantidade limitada de pinos de I/O disponíveis no PIC, que precisam ser utilizados também para outros módulos, como display LCD, botões de navegação, cristal oscilador, além da leitura de sensores. Assim, mais de um PIC seria necessário, o que elevaria expressivamente os custos de implementação, além de ocupar mais espaço, pois possui 40 pinos. Pensando nisso, foi implementado um circuito de expansão de saídas digitais do PIC utilizando o CI 74HC595.

O circuito integrado 74HC595 possui 16 pinos e contém um registrador de deslocamento de 8 bits do tipo serial-in, parallel-out (entrada serial e saída paralela), construído com 8 flip-flops tipo D em cascata, e também 8 latches utilizados para habilitar as saídas.

Também é possível expandir para mais de 8 saídas mantendo os mesmos 3 pinos do PIC para controle, bastando adicionar mais CI's 74HC595 em cascata, limitando-se apenas à capacidade de processamento do próprio PIC.

Isso se torna interessante em um sistema de maior porte com, por exemplo, 7 grupos de cultivo e, portanto, 7 válvulas, já que essa expansão das saídas pode facilmente ser implementada através de pequenos ajustes na programação.

3.1.6. Circuito Integrado CD4052

Em um sistema de irrigação, pode haver uma quantidade enorme de sensores de umidade do solo, a depender do porte do sistema.

Levando isso em conta, e considerando que o PIC não possui entradas analógicas suficientes para a leitura de uma grande quantidade de sensores, ficando limitado a quantidade de pinos analógicos disponíveis, foi utilizado o circuito integrado CD4052, um multiplexador que permite inserir sinais analógicos na entrada e enviar para a saída de acordo com os sinais enviados em seus pinos de controle. A Figura 19 mostra a pinagem deste componente.

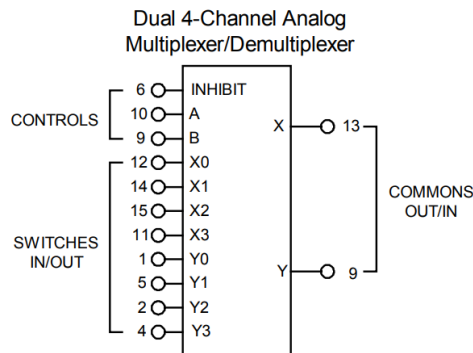


Figura 19 – Pinagem do multiplexador analógico CD4052

Fonte: 19 – Datasheet do CD4052

Dessa forma, utilizando apenas dois pinos de saída digitais do PIC, é possível escolher o sinal do sensor de umidade do solo que será enviado para a saída do multiplexador. Para isso, basta alterar o volume lógico dos pinos A e B conforme mostra a tabela verdade da Figura 20.

TRUTH TABLE

Control Inputs			ON Switches	
Inhibit	Select			
	B	A	Y	X
0	0	0	Y0	X0
0	0	1	Y1	X1
0	1	0	Y2	X2
0	1	1	Y3	X3
1	X	X	None	

* X=Don't Care

Figura 20 – Tabela verdade do multiplexador analógico CD4052

Fonte: 20 – Datasheet do CD4052

O 4052 possui 2 canais, com 4 entradas de sinal em cada um, de modo que as saídas X e Y recebem o sinal enviado pelas entradas de acordo com a seleção dos bits de controle feita pelo PIC.

Neste projeto, essa topologia foi pensada para permitir realizar a leitura de múltiplos sensores de umidade do solo utilizando apenas uma entrada analógica do PIC, bastando que para isso, seja feita uma programação adequada para o recebimento e tratamento dos sinais destes sensores, um a um.

Com apenas um CI 4052 por exemplo, é possível ler 4 sensores de umidade do solo através de uma entrada analógica do PIC enviando o sinal de saída X0, e ler mais 4 sensores de umidade do solo utilizando outra entrada analógica do PIC enviando o sinal de saída Y0.

Com isso, é possível dimensionar um sistema de irrigação com diversos sensores de umidade do solo instalados em diferentes pontos, sem se limitar a quantidade de entradas analógicas do microcontrolador, limitando-se apenas a sua capacidade de memória e processamento. A Figura 21 apresenta as principais especificações do componente.

Configuration	4:1
Number of channels (#)	2
Power supply voltage - single (V)	3.3, 5, 12, 16, 20
Protocols	Analog
Ron (Typ) (Ohms)	125
CON (Typ) (pF)	18
ON-state leakage current (Max) (μ A)	0.3
Bandwidth (MHz)	25
Operating temperature range (C)	-55 to 125
Features	Break-before-make
Input/output continuous current (Max) (mA)	10
Rating	Catalog
Supply current (Typ) (μ A)	0.04

Figura 21–Especificações do multiplexador analógico CD4052

Fonte: 21 - <https://www.ti.com/product/CD4052B>

3.1.7. Outros circuitos e componentes utilizados no projeto LCD 16x2

Para leitura das informações foi utilizado um display de LCD (Liquid Crystal Display). Este é constituído de um microprocessador de controle, uma memória RAM chamada DRAM para manter escritos na tela os dados recebidos de um microcontrolador, e

uma memória RAM chamada CGRAM responsável pela construção de caracteres especiais. O modelo utilizado foi o de 16x2 (16 colunas e 2 linhas) e ajuste da luz de fundo.

Para acionamento e navegação nos menus, cinco botões de pulso sem retenção foram utilizados, quatro para navegação entre as telas do LCD (teclas de esquerda, direita, voltar e entrar), e um botão para acionar a função de *master clear* do PIC. Para controlar a intensidade da luz de fundo do LCD foi utilizado um potenciômetro linear de 10k Ω .

Para controle eficiente das tensões de alimentação dos circuitos, reguladores de tensão da família 78XX foram utilizados. Estes podem fornecer tensões de 5V a 24V, tipicamente, e com capacidade de corrente de 1A. Neste projeto foi utilizado o modelo 7805, que, alimentado com uma fonte de +24V, fornece +5V na saída para alimentar o PIC, o LCD e demais componentes de baixa tensão no circuito.

Uma interface para conexão do PIC com elementos de maior potência foi utilizada. No caso, uma placa com relês comercialmente conhecida por “*rele shield*” de quatro elementos (relês) neste projeto. Assim, o acionamento dos relês é em baixa potência, mas a comutação realizada por eles pode atingir correntes de até 10A ou tensões também bastante elevadas, em regime DC ou AC.

Para garantir que o solo seja irrigado apenas nos momentos de interesse, respeitando os ajustes dos parâmetros do sistema, foi utilizado um conjunto de (três) válvulas, sendo uma para cada grupo de cultivo. As válvulas utilizadas funcionam com 24Vcc, e são do tipo NF (normalmente fechada). Na passagem de corrente, e em conjunto com uma bomba hidráulica, as válvulas são abertas e permitem a passagem do fluido para irrigação. No caso da bomba hidráulica, esta é necessária para garantir uma pressão adequada para os gotejadores e para tal foi empregada um modelo típico para aquário, de 7W e vazão de 500L/h. Para conexões foram adotados modelos de engate rápido para tubos de 6 mm. Nesta aplicação específica, não foram levados em conta aspectos como perda de carga nas tubulações, uma vez que o sistema construído possui fins de teste e demonstração, não utilizando componentes aplicáveis em um sistema de irrigação convencional.

Para selecionar a fonte de alimentação mais adequada para operar este sistema, foi levantado o consumo esperado do conjunto de componentes. A tabela 1 apresenta estes dados. Assim, optou-se por uma fonte tipo chaveada com 24Vdc e 3A, características elétricas adequadas para suprir a demanda do circuito. A saída de 5Vdc é obtida por meio do circuito

regulador de tensão com o CI 7805. A alimentação da bomba hidráulica é obtida diretamente da rede elétrica.

Bomba de água	127Vac	0,06 A
Válvulas	24Vdc	1,50 A
Módulo de Relés	5Vdc	0,02 A
PIC, CI's, sensores, LCD e demais componentes	5Vdc	0,20A
Total		~1,80 A

Tabela 1 - Estimativa de consumo do conjunto de componentes

A fim de permitir a demonstração do funcionamento do sistema por uma maquete, foi adquirido um kit de micro irrigação por gotejamento da marca Amanco®. Por se tratar de um kit comercial, é formado por vários componentes, que são apresentados na Figura 22, onde se destacam as estacas gotejadoras (destaque nº1 na Figura 22) e os gotejadores (destaque nº9 na mesma Figura) além de tubos e conexões.

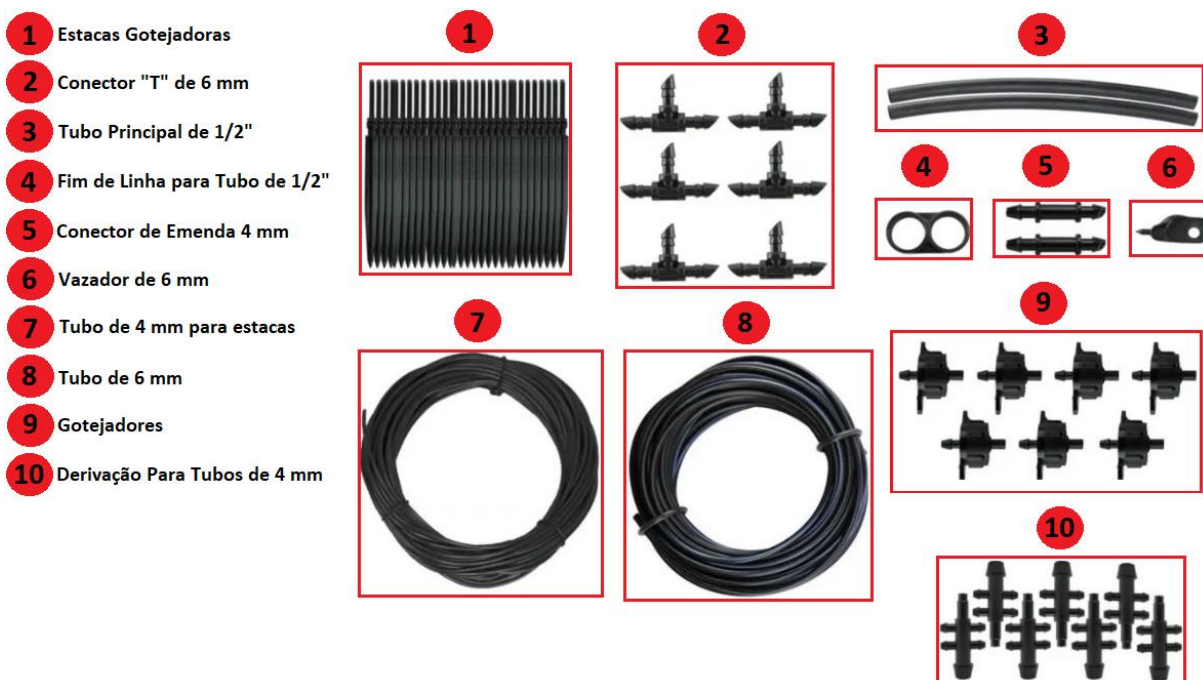


Figura 22 – Descrição dos componentes do kit de micro irrigação por gotejamento

Fonte: 22 – Autoria própria

Por fim, além dos componentes citados, resistores, *jumpers* e fios, placa de prototipagem e outros componentes eletrônicos também foram utilizados. A especificação detalhada dos componentes principais do projeto pode ser consultada nos anexos C até K. Além disso, no Anexo O é possível encontrar informações referentes aos gastos com os

materiais utilizados, fornecendo uma noção do esforço financeiro necessário para a construção do projeto proposto.

3.1.8. Amostras de solo para testes e avaliação dos sensores

A princípio o sistema desenvolvido deveria ser adaptável a um grande número de tipos de solo. No entanto, para que os resultados de testes durante o desenvolvimento do projeto pudessem ser comparáveis e reprodutíveis no que concerne à diminuição da umidade do solo presente nas amostras, preferiu-se adquirir uma quantidade de terra para jardim ou vasos ornamentais de plantas. Apesar de adquiridos no comércio varejista, não foi possível, com esta amostra, chegar a uma especificidade de solo maior, mas já é o suficiente para os testes necessários. A Figura 23 mostra a embalagem e as informações fornecidas sobre o solo (50% de terra vegetal vermelha e 50% de terra vegetal marrom, únicas informações fornecidas).



Figura 23 – Embalagem e informações do solo utilizado para testes do projeto

Fonte: 23 – Autoria própria

3.1.9. Equipamentos utilizados

Para medição das grandezas elétricas foi utilizado multímetro digital convencional, com 2 ½ dígitos. Para medição da massa das amostras de solo úmidas ou não foi utilizada uma minibalança digital para até 400g e 4 4/5 dígitos (incremento digital mínimo de 0,01g)

3.1.10. Softwares Utilizados

Programa utilizado para criar e testar a programação do microcontrolador PIC, utilizando linguagem C. foi o **MikroC for PIC**. O **Proteus** foi o software utilizado para criar e

testar os projetos eletrônicos. Neste projeto serviu para simular a programação do microcontrolador (criada no mikroC) em conjunto com os demais componentes que fazem parte do circuito de maneira virtual. Já o software **KiCAD** foi utilizado para testar a disposição dos componentes para montagem da placa e para visualizar a vista 3D em relação as dimensões. Por fim, programas e ferramentas do Microsoft Office foram utilizados para a parte documental.

3.2. PROCEDIMENTO DE OPERAÇÃO E METODOLOGIA DE TESTES

Diversas metodologias foram empregadas para o desenvolvimento deste trabalho. Será dado destaque a duas mais importantes que são o procedimento de operação do sistema e a metodologia de preparação das amostras de solo. Assim, a validação da operação do sistema depende da preparação das amostras de solo para testes dos sensores de umidade.

3.2.1. Procedimento de operação do sistema

Para permitir o monitoramento e a configuração das funções de controle do sistema, propôs-se o seguinte procedimento de operação (a fim de gerar um código fonte em linguagem C a ser empregado no microcontrolador):

Partindo de um reservatório de água (ou outra fonte de abastecimento), uma bomba de irrigação é acionada para transferir o conteúdo de água do reservatório até as tubulações responsáveis por transmitir a água até os gotejadores. A liberação ou não da água é feita através de válvulas solenoide instaladas nas tubulações secundárias do sistema, que levam a água pressurizada pela bomba até os gotejadores. A Figura 24 ilustra a ideia geral do sistema proposto.

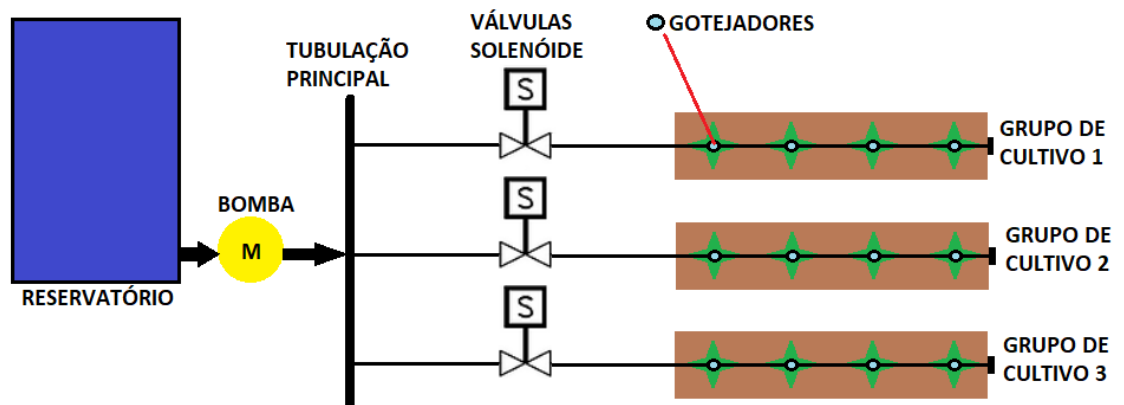


Figura 24 – Esboço do sistema proposto

Fonte: 24 – Autoria própria

Com isso, na parte de monitoramento, um microcontrolador previsto como elemento central, recebe informações do processo através de sensores de umidade do solo e volume de água do reservatório, e converte essas informações para apresentar em um display LCD na forma de texto. O microcontrolador também recebe sinais de entrada de um conjunto de botões de navegação utilizados para percorrer as telas de menu do display LCD, permitindo monitorar as variáveis do processo de maneira independente.

Já na parte de controle os sensores enviam informações de umidade do solo e volume do reservatório para o microcontrolador, o microcontrolador compara os valores recebidos com os valores ajustados de umidade e volume, e aciona as saídas (válvulas + bomba) para realizar a irrigação de acordo com a necessidade de cada grupo de cultivo.

A Figura 25 apresenta o sistema idealizado por meio de um diagrama de blocos.

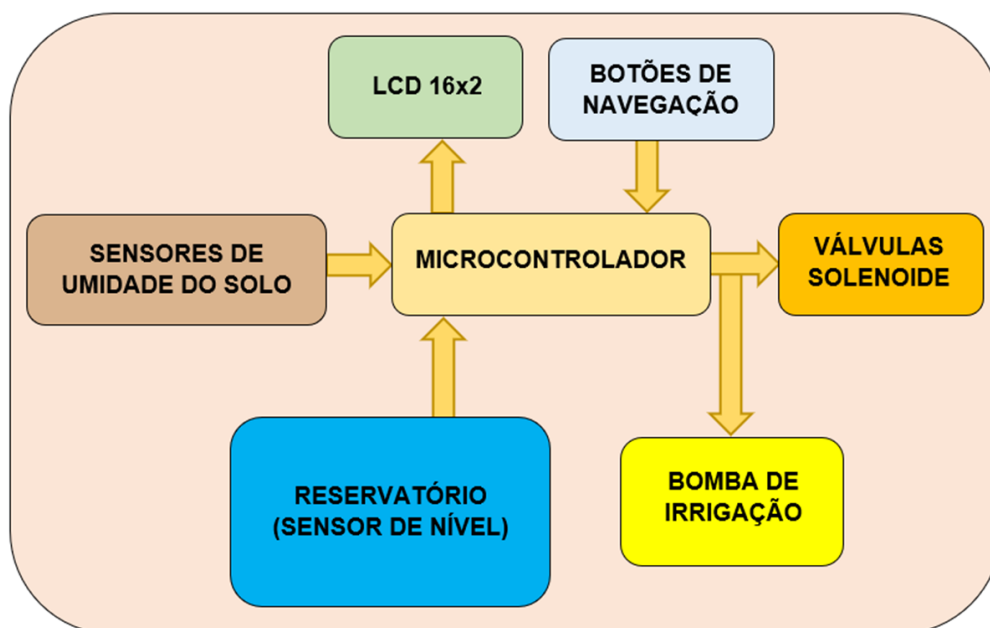


Figura 25 – Proposta de sistema de monitoramento e controle da irrigação

Fonte: 25 – Autoria própria

Inicialmente foi prevista a criação de um sistema intuitivo de navegação por menus através do display. Dessa forma, através de botões de navegação (direita, esquerda, entrar e voltar), o usuário seleciona qual função deseja acessar. As funções são parâmetros para as grandezas umidade, volume ou outras configurações.

Para a função **umidade**:

- Um novo menu será acessado, através do qual é possível selecionar entre as opções de leitura da umidade, ajuste de *setpoint* ou ajuste de histerese.
- Acessando a opção de leitura, o usuário entra em um novo menu, onde ele pode selecionar qual grupo de cultivo ele quer monitorar (grupo 1, grupo 2 ou grupo 3). Neste projeto, cada grupo de cultivo representa um ou mais sensores de umidade instalados em pontos que necessitam de irrigação, e ao selecionar o grupo desejado, é possível visualizar no display o percentual atual de umidade do solo do grupo selecionado.

A lógica desenvolvida para leitura da umidade do solo de cada grupo de cultivo leva em conta a média das leituras dos sensores instalados, visando apresentar um valor de umidade o mais confiável possível. Essa mesma lógica também contempla um algoritmo de descarte de leituras discrepantes de sensores, de tal modo que caso haja diferenças significativas entre os sensores de umidade de um mesmo grupo de cultivo, o algoritmo fica

encarregado de selecionar quais sensores irão compor a média, descartando as demais leituras. Para isso, o algoritmo segue uma série de critérios em função da quantidade de sensores instalados ou configurados do respectivo grupo de cultivo. Os critérios estão descritos a seguir:

- **Para apenas um sensor instalado ou configurado:**

- Considera-se apenas a leitura do mesmo, desprezando qualquer outra entrada de sinal.

- **Para dois sensores instalados ou configurados:**

- Caso os dois sensores estejam lendo a mesma faixa de umidade, calcula-se a média das leituras entre os dois sensores.

- Caso cada sensor esteja lendo uma faixa diferente de umidade (competindo entre si), considera-se o sensor que estiver lendo na faixa de menor umidade, priorizando a decisão de irrigar o solo seco.

- **Para três sensores instalados ou configurados:**

- Caso os três sensores estejam lendo a mesma faixa de umidade, calcula-se a média das leituras entre os três sensores.

- Caso haja dois sensores lendo a mesma faixa de umidade, e um sensor lendo outra faixa, calcula-se a média apenas entre os dois sensores que prevalecem, descartando o sensor que está com a leitura discrepante da maioria.

- Caso haja três sensores, cada um lendo uma faixa de umidade diferente (competindo entre si), considera-se apenas o sensor da faixa de menor umidade, priorizando a decisão de irrigar o solo seco.

- **Para quatro sensores instalados:**

- Caso os quatro sensores estejam lendo a mesma faixa de umidade, calcula-se a média das leituras entre os quatro sensores.

- Caso haja três sensores lendo a mesma faixa de umidade, e um sensor lendo outra faixa, calcula-se a média apenas entre os três sensores que prevalecem, descartando o sensor que está com a leitura discrepante da maioria.

- Caso haja dois sensores lendo uma faixa de umidade e outros dois sensores lendo outra faixa (competindo entre si), verifica-se qual a faixa de menor umidade e determina-se a média entre os sensores que pertencem a mesma.

- Caso haja dois sensores lendo em uma faixa de umidade, um sensor lendo em outra faixa, e um sensor lendo a terceira faixa, considerar apenas a faixa com mais sensores.

É possível ajustar os parâmetros para cada grupo de cultivo. Para isto, retornando ao menu de seleção de opções para a função de umidade, seleciona-se a opção de *setpoint*, o usuário entra em um novo menu, onde ele pode selecionar qual grupo de cultivo ele quer ajustaro *setpoint*(grupo 1, grupo 2 ou grupo 3). A operação fica assim:

- Após selecionar o grupo desejado, o usuário realiza o ajuste de setpoint, ou seja, define qual o percentual de umidade mínimo desejado para o solo.
- Caso a umidade do solo (estimada através da lógica de cálculo da média entre os sensores) esteja em um valor menor ou igual ao do setpoint ajustado, e desde que haja água suficiente no reservatório, a bomba de irrigação é acionada e a válvula do grupo de cultivo correspondente é aberta, permitindo sua irrigação.
- Uma vez que o setpoint é atingido e a irrigação é iniciada, deve existir um parâmetro que informe ao sistema quando parar de irrigar. Neste projeto, esse parâmetro é chamado de histerese, sendo definido como “a diferença entre o liga e o desliga” da irrigação de um determinado grupo de cultivo. Ou seja, a histerese define um valor de ajuste tal que, ao atingir o setpoint, o sistema só para de irrigar quando a umidade atingir setpoint + histerese.

Como a irrigação deve seguir uma faixa confiável para, principalmente, finalizar a irrigação, a opção **histerese** foi desenvolvida. Sua configuração é similar ao ajuste de setpoint, e é como segue:

- O usuário acessa o menu de opções para a função de umidade e seleciona a opção de histerese.
- Então, ele seleciona qual grupo de cultivo ele quer ajustar a histerese, e realiza o ajuste do valor percentual de umidade que o sistema deve somar ao *setpoint* para interromper o processo de irrigação.

Há também a função **volume**, que permite ajustes nos parâmetros do reservatório. Para tal, basta acessá-lo e, nesta opção do menu, é possível selecionar entre as opções de leitura de volume percentual, ajuste de setpoint ou ajuste de histerese. A concepção é parecida com a função de umidade, com a diferença que nas opções da função volume não é necessário selecionar nenhum grupo de cultivo, já que o reservatório é único para todos os grupos. Dessa forma, ao navegar pelas opções disponíveis para a função de volume, é possível configurar o setpoint de volume, que determina qual o volume mínimo de água (em valor percentual)

permitido para realizar a irrigação. Caso o volume percentual de água do reservatório da maquete seja menor ou igual ao ajuste de setpoint, a bomba desliga (caso esteja ligada) ou é impedida de ligar (caso esteja desligada). No ajuste por histerese para o volume, caso seja atingido o setpoint, a bomba será bloqueada e só será desbloqueada quando o volume atingir a soma de setpoint + histerese.

Por fim, caso seja acessada a função de configurações, é possível realizar configurações gerais como alterar a quantidade de sensores instalados (1 a 4 sensores), ou realizar um reset de fábrica, retornando os parâmetros do sistema para valores pré-definidos.

3.2.2. Metodologia para preparo do solo

Para verificar a capacidade dos três sensores de umidade do solo utilizados de representar a umidade real, foi necessário determinar a umidade real através de um método padronizado, e então comparar com a leitura apresentada pelo sensor. Realizando essas medições para vários teores de umidade, foi possível levantar uma curva para cada sensor, permitindo analisar seu comportamento diante da variação da umidade. Para isto, foi utilizada a metodologia descrita por SOUZA, G. B. (et al. - 2002) [9] e por FONSECA, S.O (et al.) [10], que tratam da determinação da umidade do solo pelo método do forno micro-ondas.

Ao retirar o solo da embalagem, verificou-se visualmente que o solo se apresentava bastante úmido inicialmente. Assim, como não é possível determinar a quantidade inicial de umidade, é necessário padronizá-las removendo-se o máximo de umidade para depois adicionarem-se quantidades pequenas. Para remover a umidade inicial foi utilizado forno de micro-ondas, desta forma:

- É feito um pré-aquecimento de uma certa quantidade suficiente para realizar os testes utilizando um recipiente de maior área, de modo a facilitar o processo de secagem utilizando o micro-ondas, o qual exerce o papel de estufa para estes ensaios (Figura 26). O pré-aquecimento retira uma boa quantidade de umidade do solo;
- Feito isso, utilizando uma balança com precisão de 0,01g, foram medidas as massas de 3 béqueres de vidro autoclaváveis, vazios e identificados com numeração de 1 a 3 utilizando caneta permanente;
- Uma vez pré-aquecido, o solo foi dividido em três amostras com massas bem próximas, as quais foram adicionadas aos béqueres;

- Feito isso, as amostras de solo foram levadas ao forno micro-ondas diversas vezes, com intervalos de tempo que variaram entre 3 minutos e 7 minutos cada vez. As pausas eram necessárias pois o forno micro-ondas possui proteções contra superaquecimento, e podem desligar ou até queimar caso não seja dado um tempo para resfriar.
- Após cada etapa de aquecimento e resfriamento, as massas das amostras foram medidas e anotadas. Esse processo foi repetido por 7 vezes até que a massa de todas elas atingisse valor constante, indicando que não havia mais água no solo para ser retirada.
- Dessa forma, sabendo a massa de cada béquer vazio, e a massa de cada béquer com solo totalmente seco, foi possível determinar a massa de solo totalmente seco de cada amostra.

A Figura 26 mostra algumas etapas deste procedimento.

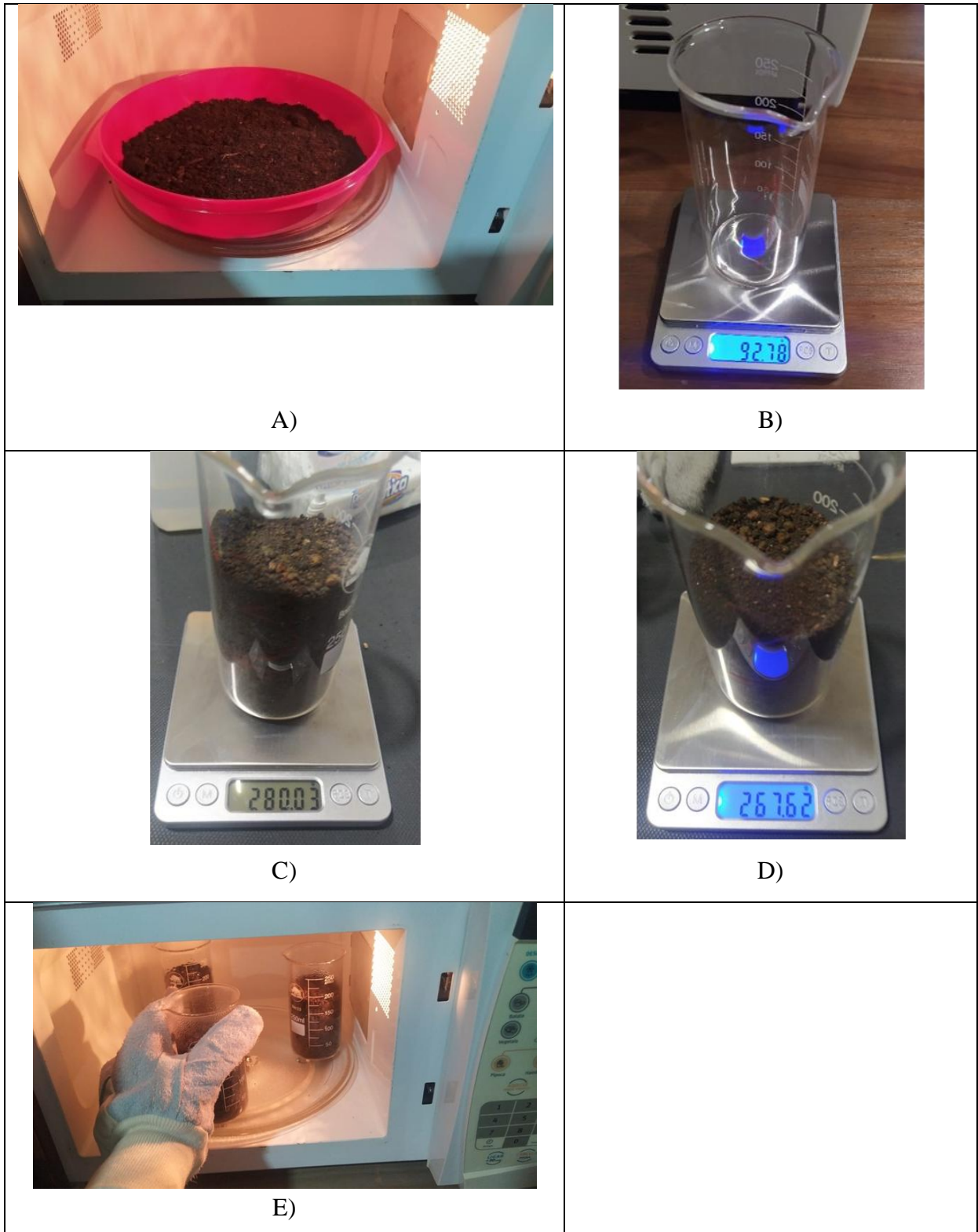


Figura 26 – Método para remoção da umidade: A) aquecimento inicial; B) pesagem do béquer; C) pesagem da amostra para secar; D) amostra com massa constante ou “seca”; E) procedimento de secagem das amostras nos respectivos béqueres.

Fonte: 26 – Autoria própria

A tabela 2 consolida os resultados obtidos para preparo dos solos pelo método de aquecimento por forno micro-ondas.

	Béquer 1	Béquer 2	Béquer 3
Massa inicial do béquer (g)	92,78 g	96,15 g	95,00 g
Massa do béquer + solo úmido (g)	280,00 g	280,00 g	280,03 g
Massa do conjunto após secagem (g)	267,81 g	268,10 g	267,62 g
Massa somente do solo seco (g)	175,03 g	171,95 g	172,62 g

Tabela 2 - Resultados obtidos para preparo dos solos pelo método de aquecimento por forno micro-ondas

Após finalizadas, estas amostras foram cuidadosamente umidificadas e, com o monitoramento pelos sensores, foram obtidas as respectivas respostas elétricas ao processo de umidificação.

Com relação aos sensores, alguns testes foram realizados, estes especificamente para encontrar os pontos extremos, isto é, umidade no solo praticamente nula e com umidade extrema. Considerou-se, para tais pontos extremos, o sensor no ar para umidade zero e o sensor mergulhado em água potável, sem terra ou solo, como umidade máxima. A tabela 3 consolida os resultados obtidos neste teste, que serviu apenas para avaliar se as respostas dos sensores se assemelhavam. Para isto, os sensores foram identificados com etiquetas, sendo numerados de 1 a 3 (os sensores e as etiquetas podem ser vistos na Figura 27). A tensão que alimentava cada sensor também foi monitorada neste teste.

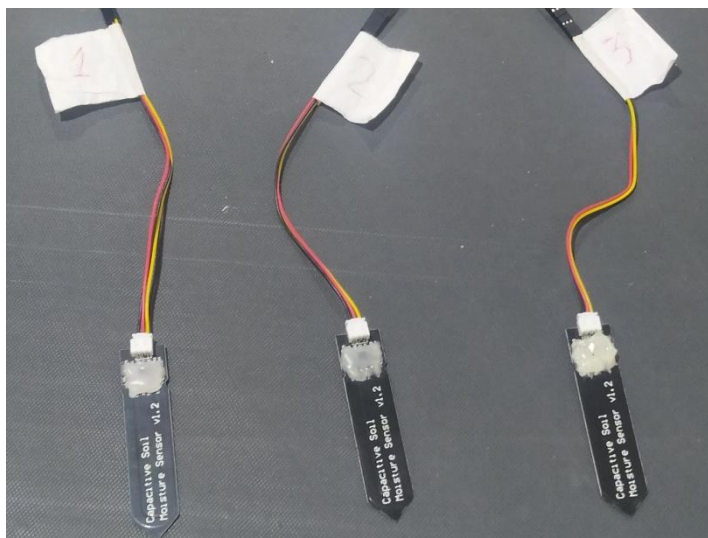


Figura 27–Sensores capacitivos de umidade do solo devidamente identificados para os testes

Fonte: 27 – Autoria própria

	Sensor1	Sensor2	Sensor3
Tensão p/ sensor no ar (V)	3,53	3,59	3,58 V
Tensão p/ sensor na água (V)	1,89 V	1,93 V	1,90 V
Tensão de alimentação dos sensores no momento do teste (V)	4,63V	4,63 V	4,72 V

Tabela 3 - Resultados obtidos para preparo dos solos pelo método de aquecimento por forno micro-ondas.

Este teste comprova que os sensores são semelhantes em seus pontos extremos de umidade, 0% (ou no ar) e 100% (mergulhado em água), e que, portanto, podem ser intercambiados com pouco prejuízo na medição. Também não houve dano devido à umidade extrema.

3.2.3. Metodologia para medição da umidade no solo após a secagem

Para validar a funcionalidade dos três sensores capacitivos de umidade do solo utilizados, os mesmos foram instalados em três béqueres contendo amostras de solo totalmente secas, e com isso, foram adicionadas quantidades padronizadas em massa de água nas amostras de solo, em intervalos de tempo suficientes para absorção da umidade pelo solo e utilizando para adicionar a água uma seringa ou um conta-gotas. Após cada adição, foi

respeitado um intervalo de 5 minutos de espera, e então foram medidas as tensões de saída de cada sensor.

Durante o processo, a tensão de saída fornecida pelo sensor foi monitorada utilizando o protótipo já em operação, coletando-se os pontos para cada teor de umidade do solo, desde o solo totalmente seco até a saturação das amostras. Além disso, a umidade gravimétrica foi calculada de acordo com cada adição em massa de água nas amostras de solo. Posteriormente, com os dados coletados, foi analisada a correlação entre a umidade gravimétrica das amostras de solo e o sinal de tensão obtido na saída dos sensores conforme a variação da umidade das amostras. Todos os testes foram realizados em solos que passaram pela secagem, utilizando o método do forno micro-ondas. Vale comentar que atentou-se colocar os sensores de maneira semelhante em cada béquer, conforme mostra a Figura 28.

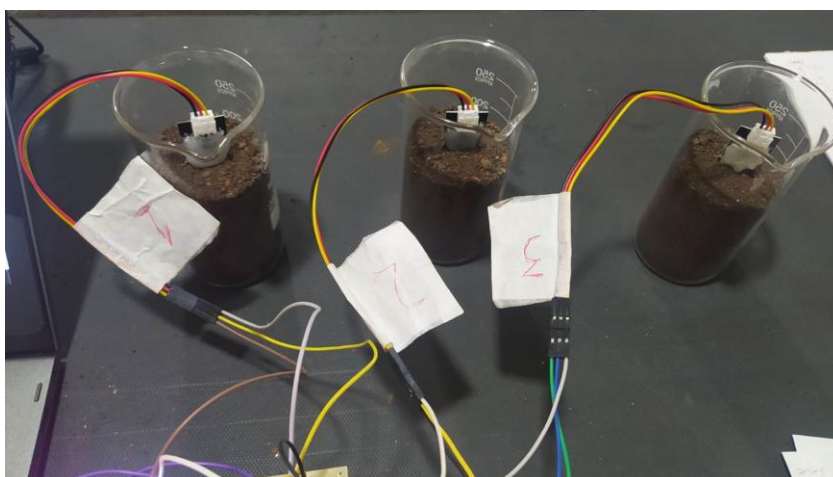


Figura 28–Sensores de umidade instalados em cada béquer

Fonte: 28 – Autoria própria

Para avaliar a quantidade em massa de água adicionada, o dosador é enchido com água e sua massa é medida na balança (descontando-se a massa do dosador). A diferença em massa no dosador equivale à quantidade em massa de água adicionada à amostra de solo.

No Anexo M deste trabalho é possível encontrar os resultados destes testes feitos com o sensor capacitivo CS12. Além disso, no Anexo N, encontra-se também o resultado obtido com o teste de um sensor resistivo de umidade do solo HL-69, o qual foi adotado inicialmente para implementação neste projeto, porém, foi substituído pelo sensor capacitivo CS12 para evitar problemas futuros em testes.

3.2.4. Metodologia para medir o volume de água no reservatório

Para testar a função de monitoramento de volume de água do reservatório da maquete, foi desenvolvido um código fonte capaz de determinar a altura de água disponível em um reservatório de dimensões conhecidas, e a partir disso, determinar o percentual de água disponível no reservatório. O teste consistiu basicamente em adicionar uma quantidade conhecida de água dentro do reservatório e verificar a leitura do sensor ultrassônico através do display, o qual indicava o percentual de água disponível naquele momento.

Para testar a descida do volume, foi feita a retirada do conteúdo de água do reservatório por meio de uma bomba de sucção manual, sendo acompanhada a leitura do volume pelo display.

No capítulo 4 serão detalhados os procedimentos realizados para desenvolver o protótipo proposto, bem como os resultados preliminares obtidos durante os testes realizados.

4. CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO E TESTES DE CAMPO

Este capítulo apresenta o processo de desenvolvimento do projeto, envolvendo o desenvolvimento e os testes dos circuitos esquemáticos em simulador, programação do microcontrolador, testes de avaliação dos componentes e circuitos, e desenvolvimento da maquete demonstrativa do sistema proposto.

4.1. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

Os itens seguintes descrevem os sistemas que foram projetados, simulados em software de eletrônica e construídos em componentes reais.

4.1.1. Desenvolvimento de Circuito Esquemático

Para projetar e simular circuitos capazes de realizar as funções propostas no projeto foi utilizado o software Proteus. Este pois possui ampla biblioteca de componentes, ferramentas de simulação e é conhecido pelo grupo de trabalho. Os diagramas esquemáticos dos circuitos desenvolvidos, são mostrados em diferentes itens na sequência para facilitar a compreensão. O código fonte em linguagem C desenvolvido através do MikroC foi inserido no PIC do Proteus, permitindo realizar o teste das funcionalidades antes mesmo do uso do componente PIC físico. O código fonte completo pode ser encontrado no Anexo A deste trabalho. A Figura 29 apresenta o esquemático geral desenvolvido através do software de simulação.

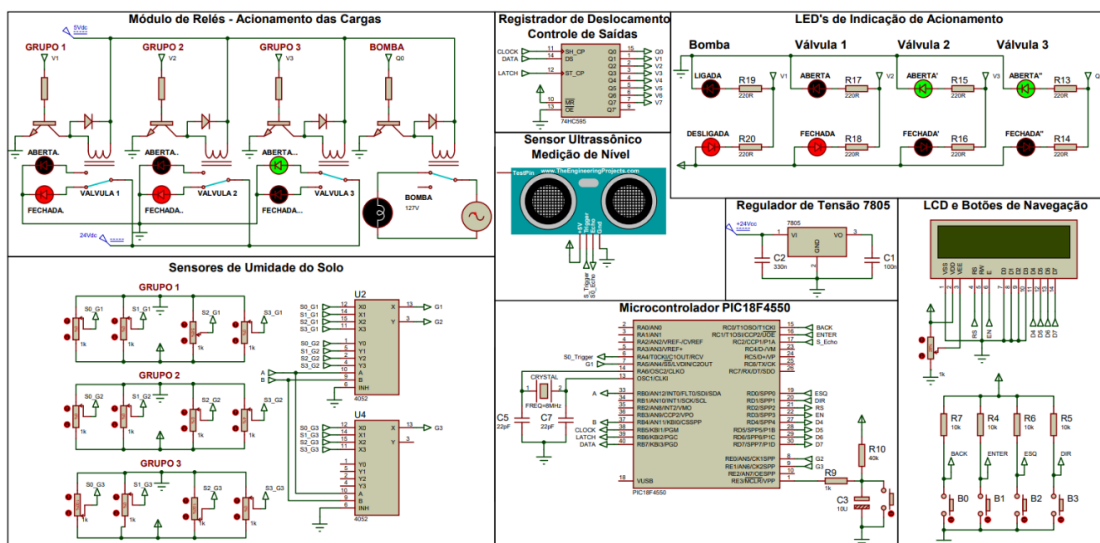


Figura 29–Esquemático geral do protótipo

Fonte: 29 – Autoria própria

4.1.2. Sistema de Menus com LCD e Botões de Pulso

A Figura 30 mostra alguns dos módulos que compõem a circuitaria eletrônica. Do lado esquerdo encontra-se o circuito do PIC onde, além do circuito oscilador a cristal (*clock*, ajustado para 8MHz) há o botão para acionamento do pino de *master clear reset* do circuito. Enquanto do lado direito tem-se o circuito do LCD e a sua comunicação com o PIC pelos pinos 21 a 30 (RD2 a RD7), bem como os botões para navegação pelos menus, sendo quatro botões no total.

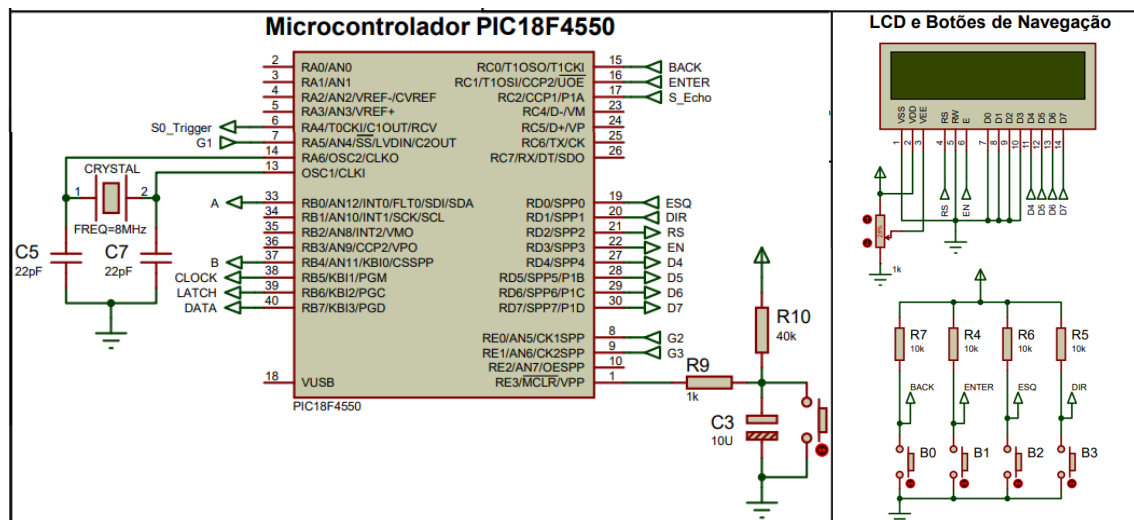


Figura 30 – Circuito do PIC (lado esquerdo) e LCD com botões de navegação (lado direito)

Fonte: 30 – Autoria própria

4.1.3. Leitura dos Sensores Capacitivos de Umidade do Solo

O Proteus não possui em sua biblioteca de componentes um sensor capacitivo de umidade do solo. Porém, considerando que o sinal de saída do sensoré analógico (em Volts) e pode ser coletado pelo conversor A/D do PIC, uma maneira fácil de emular estes sensores, transformando-os em potenciômetros, que se observam na Figura 31A), assim permitindo testar tanto a programação quanto a viabilidade da metodologia empregada. A Figura 31 B) mostra o circuito multiplexador, que será explicado mais adiante.

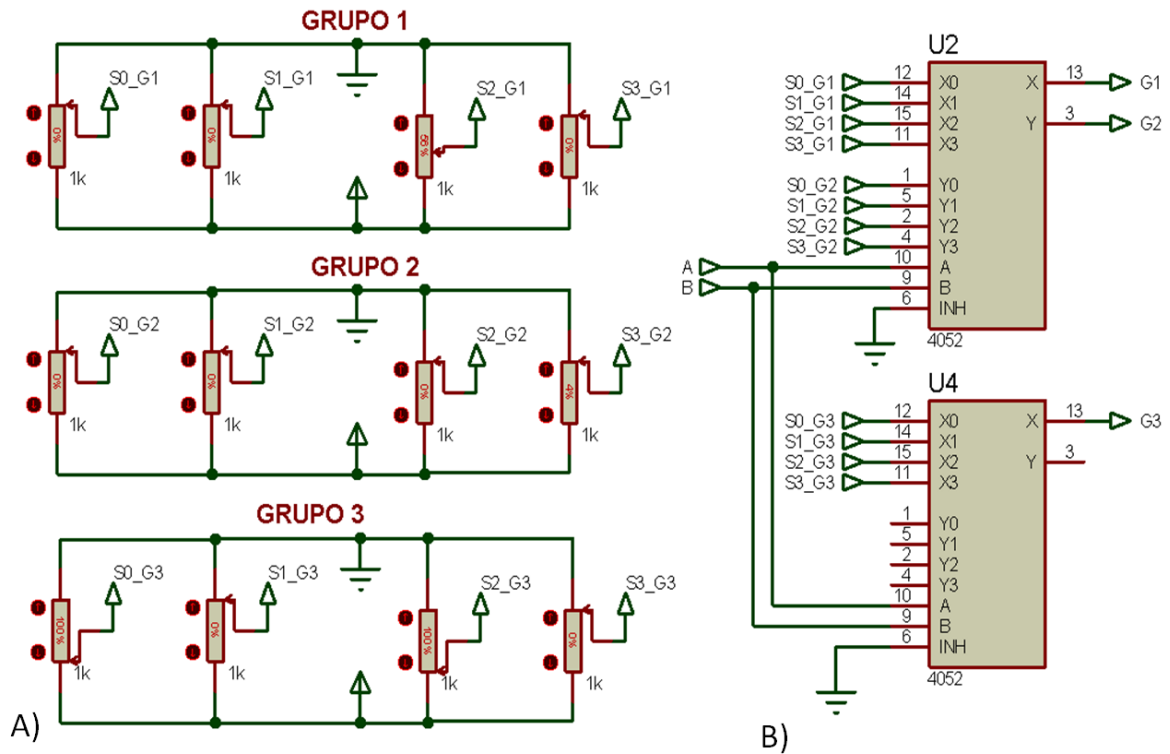


Figura 31 - A) emulação de sensores em cada grupo de cultivo e; B) circuito multiplexador para aumento do número de grupos de cultivo e/ou sensores.

Fonte: 31 – Autoria própria

O circuito da Figura 31 A) foi desenvolvido para monitorar grupos de cultivo isolados entre si, cada um possuindo uma válvula para liberação ou bloqueio da irrigação de maneira independente. Para isso, cada grupo possui uma certa quantidade de sensores de umidade do solo instalados em pontos espalhados ao longo do grupo para permitir o monitoramento da umidade. O arranjo padrão neste projeto é de três grupos de cultivo (por exemplo morango, pitaya e limão) com quatro sensores de umidade do solo em cada grupo. No entanto há limitações no número de entradas disponíveis no PIC, o que exigiu, para aumento no número de sensores e grupos de cultivo, o circuito mostrado na Figura 31 B).

Para que a leitura de cada sensor fosse recebida pelo PIC, foi utilizado o multiplexador analógico 4052. Ele possui oito entradas e duas saídas.

As quatro entradas X0 até X3 enviam sinal para a saída X, uma de cada vez, de acordo com a seleção feita pelo PIC pinos A e B do 4052, sendo que o PIC utiliza apenas dois pinos de saída para fazer essa seleção. Da mesma forma, as quatro entradas Y0 até Y3 enviam sinal para a saída Y.

Com isso, cada saída (X e Y) pode ser usada para monitorar um grupo de cultivo com até quatro sensores, bastando conectar a saída desejada (X ou Y) em uma entrada analógica do PIC. Portanto, com uma entrada analógica do PIC é possível monitorar um grupo de cultivo com até quatro sensores, bastando programa-lo para receber estes sinais do 4052, um de cada vez.

Neste projeto em específico, foram utilizados dois CIs 4052, ampliando a capacidade de monitoramento para três grupos de cultivo com quatro sensores em cada, mas essa topologia permite expandir para uma maior capacidade utilizando multiplexadores com mais entradas e/ou associando dois ou mais multiplexadores.

4.1.4. Leitura do Sensor Ultrassônico para volume

Para medir o volume de água do reservatório de abastecimento do sistema de irrigação, foi utilizado um sensor ultrassônico, cujo esquemático é mostrado na Figura 32 B). O sensor teve seu pino de Trigger conectado ao RA4 do PIC mostrado na Figura 32 A), o qual é responsável por enviar os comandos para o sensor emitir pulsos de ultrassom. Já o pino de Echo foi conectado ao pino RC2/CCP1 do PIC, pois a função de captura do módulo CCP do PIC foi utilizada para medir o tempo de duração do pulso de Echo do sensor, sendo então utilizado para calcular a distância do sensor até a água do reservatório.

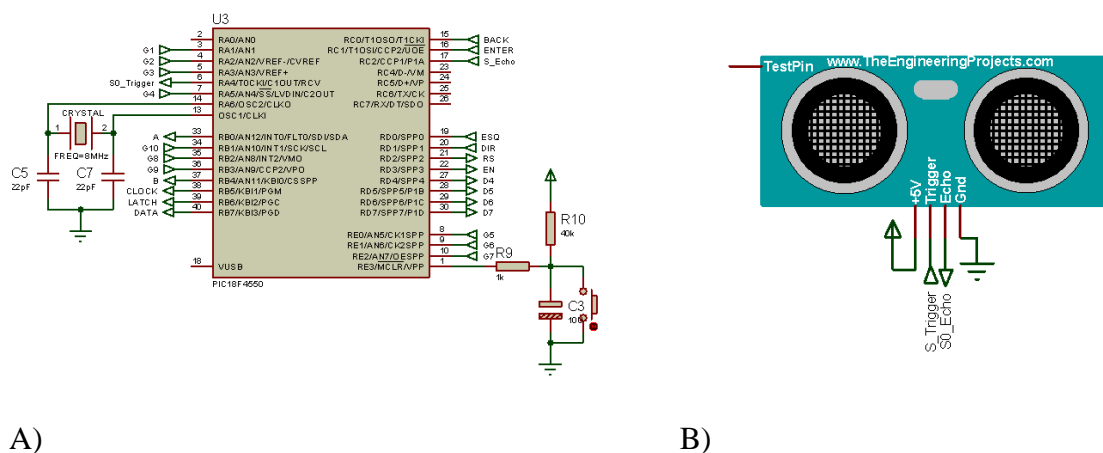


Figura 32 – A) Microcontrolador PIC e B) Sensor ultrassônico

Fonte: 32 – Autoria própria

A princípio, foi utilizada uma biblioteca do Proteus que disponibiliza esse sensor para simulação, porém, devido a algum problema desconhecido, o Proteus não foi capaz de simular o código fonte desenvolvido para teste desse sensor. Dessa forma, os testes do sensor foram realizados fisicamente, sem auxílio de simulação, e os resultados se mostraram bastante satisfatórios.

4.1.5. Controle de Acionamento das Cargas

O acionamento das válvulas de cada grupo de cultivo e da bomba de irrigação não pode ser efetuado diretamente pelas portas do PIC nem pelas saídas do registrador de deslocamento. Assim foi necessário uso de relês para acionamento, sendo parte deles para as válvulas (Figura 33 B)) e parte para ligar a bomba hidráulica (Figura 33 C)), como apresentado na Figura 33.

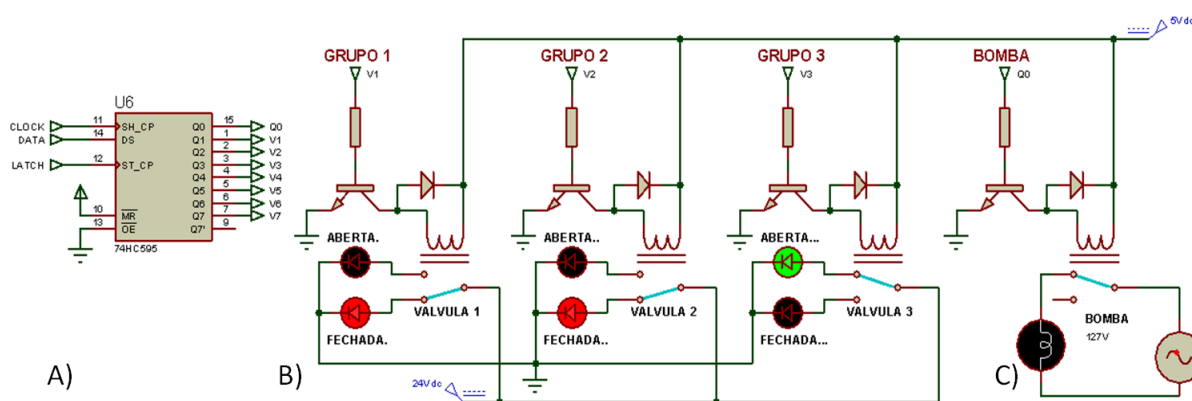


Figura 33 – A) Circuito Integrado 75HC595; B) Simulação de válvulas usando relês; C) Simulação de bomba usando lâmpada em corrente alternada

Fonte: 33 – Autoria própria

O circuito da Figura 33 A) é composto de um circuito integrado 74HC595, o qual funciona como registrador de deslocamento, recebendo sinais de controle provenientes do PIC. O RB5 do PIC controla o pino de CLOCK, o RB6 controla o pino de LATCH e o RB7 controla o pino de DATA. Dessa forma, utilizando apenas 3 pinos do microcontrolador, e por meio de uma lógica de programação adequada, é possível realizar o acionamento de até 8 saídas digitais (pinos Q0 a Q7) de maneira independente. Para este protótipo, como foram previstos 3 grupos de cultivo, são acionadas apenas 4 cargas, sendo 3 válvulas e 1 bomba. A simulação das válvulas no Proteus foi feita com LED's vermelhos e verdes para indicar o estado de aberto ou fechado das mesmas e a bomba foi representada como uma lâmpada e alimentada por um sinal alternado (emulando uma carga AC).

4.1.6.Regulador de Tensão 7805

A maioria dos componentes utilizados no projeto trabalham com +5Vcc. Para isto, a partir da fonte principal de +24Vcc, utilizou-se um CI regulador de tensão 7805 na sua configuração mais típica, mostrado na Figura 34. A corrente típica de 1A deste circuito também está adequada.

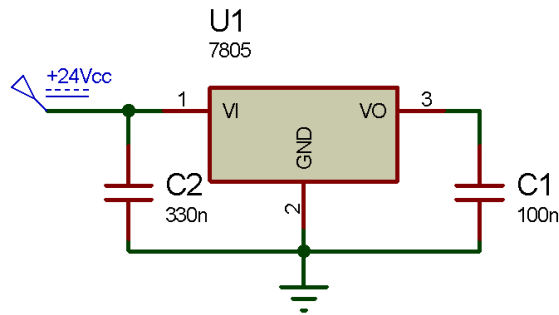


Figura 34 – Circuito esquemático do regulador de tensão 7805

Fonte: 34 – Autoria própria

4.2. MONTAGEM DO PROTÓTIPO

A montagem do protótipo observou o procedimento típico para produção circuitos em desenvolvimento, isto é, primeiramente montagem em módulos e posteriormente a confecção da placa de PCB (*PrintedCircuit Board*) definitiva. Assim, o circuito real foi desenvolvido em sistemas modulares e provisórios até a produção desta PCB, que costuma ser a última etapa e requerer produção industrial. No entanto, é possível, via software, esboçar a disposição dos componentes, as dimensões da placa, utilizando o software KiCAD. A imagem obtida desta simulação mostrando o possível aspecto final do circuito pode ser observada na Figura 35.

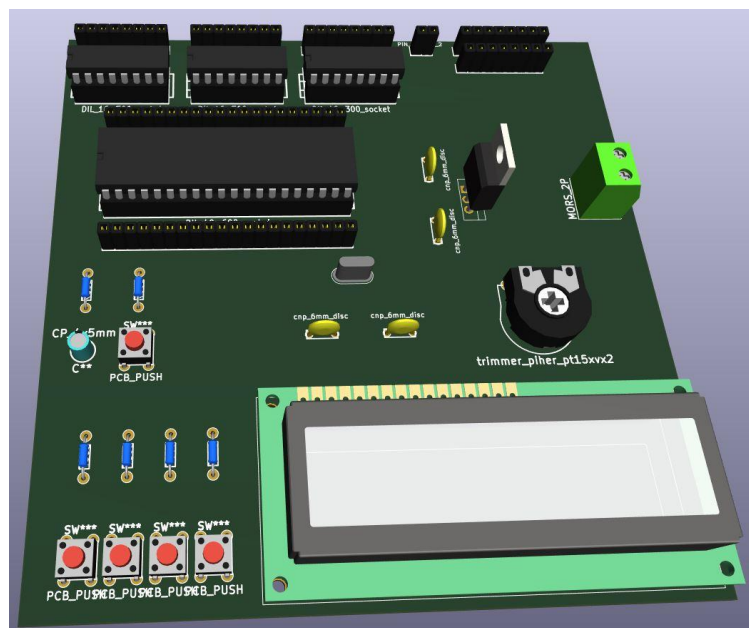


Figura 35 – Vista 3D do layout superior da placa de circuito

Fonte: 35 – Autoria própria

A montagem do circuito protótipo para testes foi feita em placas mais básicas, para permitir alterações mais rapidamente, e as conexões entre os componentes foi feita com uso maior de “jumpers” (fios) e uso de placa padrão de prototipagem (placa ilhada) e trilhas mais elementares. Apesar disto, o layout final da placa e o respectivo arquivo *gerber* com o desenho final é rápido de ser obtido. O mesmo não ocorre para a placa final, que deve ser confeccionada por empresas especializadas, muitas fora do Brasil, com risco de atrasos na entrega, maior custo e lotes mínimos em grandes quantidades. A Figura 36 mostra a placa em duas fases da confecção, com poucos componentes e a Figura 37 mostra o frente-verso da placa-protótipo finalizada.

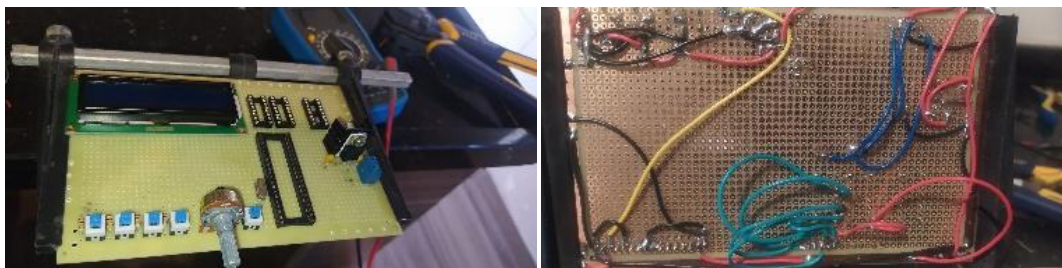


Figura 36 – Fases iniciais de confecção da placa-protótipo

Fonte: 36 – Autoria própria

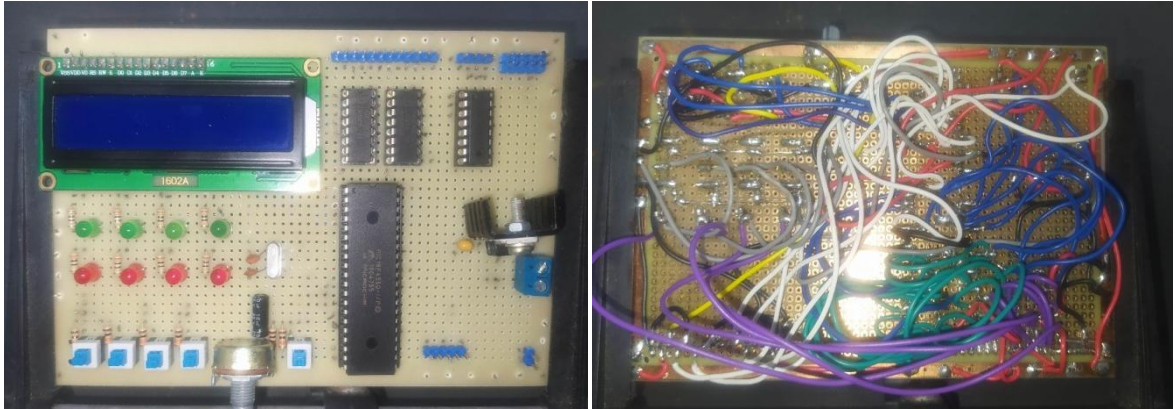


Figura 37–Visões de frente e verso da placa-protótipo finalizada

Fonte: 37 – Autoria própria

4.3.RESULTADOS DE PROJETO E DE TESTES

A seguir, serão apresentados os procedimentos utilizados e resultados obtidos durante os testes dos sensores de umidade do solo e do sensor ultrassônico. Os testes foram importantes para que se pudesse verificar se as medições realizadas pelos sensores eram realmente capazes de representar as grandezas de umidade do solo e volume de água do reservatório. Sem esses testes, não seria possível dizer nada a respeito da confiabilidade dos sensores utilizados.

4.3.1. Avaliação dos Sensores de Umidade utilizados

Este é considerado o teste mais importante deste trabalho. A capacidade dos sensores de umidade de detectarem corretamente este valor e a curva resultante são determinantes para a adequada operação do protótipo proposto. Para tal, todos os três sensores capacitivos tiveram as suas curvas de medição avaliadas. Para obtenção desta medida, amostras de solo seco foram cuidadosamente umidificadas, conforme os procedimentos apresentados no capítulo de Materiais e Métodos, e o resultado é apresentado graficamente na Figura 38 (curva tensão de saída do sensor em volts em função da umidade gravimétrica percentual do solo). Para facilitar a comparação entre as respostas, as três curvas foram plotadas juntas. As curvas individuais podem ser encontradas no Anexo M.

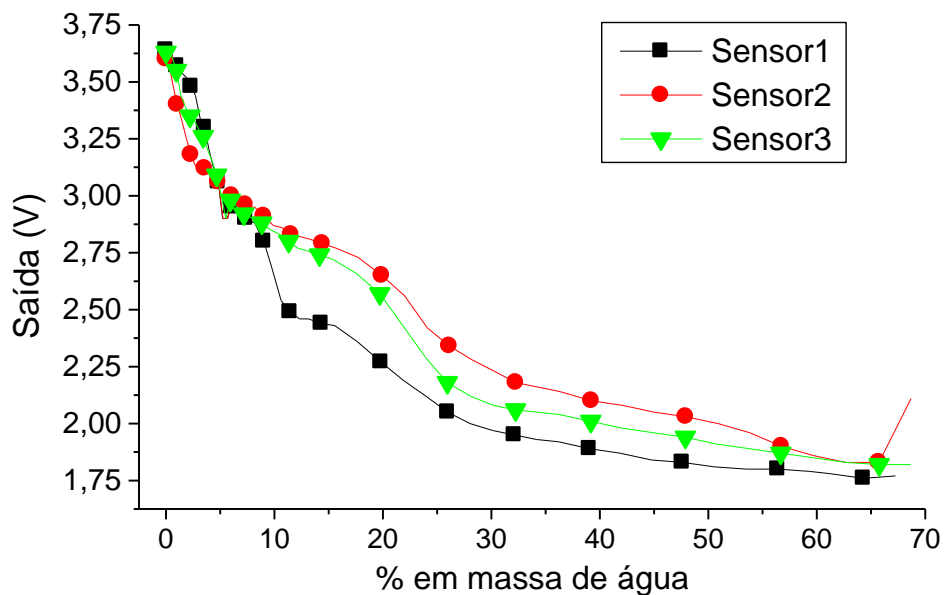


Figura 38 - Tensão de saída em função da umidade percentual em massa de água em amostras de solo

Fonte: 38 – Autoria própria

Os dados obtidos neste teste a mostram que a resposta dos três sensores é relativamente semelhante, indicando que todos podem ser utilizados de maneira confiável para a construção deste tipo de equipamento que depende das medições realizadas pelos sensores. Outro dado bastante importante é que a resposta de todos os sensores indica um comportamento não linear cuja sensibilidade é maior para valores baixos de umidade do solo, e esta sensibilidade vai diminuindo conforme a porcentagem de água aumenta. Com isto, pode-se concluir que equipamentos como o que está sendo proposto terão maior facilidade em monitorar solos mais secos, o que fatalmente será adequado a uma parte das culturas agrícolas. Com isto, é possível direcionar a aplicação do equipamento, bem como realizar ajustes finos na programação para permitir o acionamento do sistema de irrigação em faixas mais bem ajustadas para baixas umidades.

4.3.2. Validação do Sensor Ultrassônico

Para verificar a capacidade do sensor ultrassônico de medir com precisão suficiente o volume de água do reservatório de abastecimento do sistema de irrigação, o sensor foi instalado no reservatório que será utilizado na maquete do projeto e conectado à placa de circuito, conforme mostrado na Figura 39.

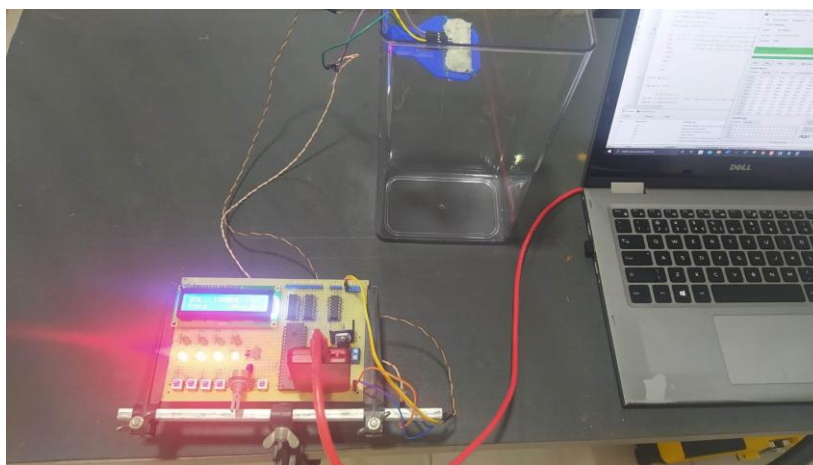


Figura 39 – Sensor ultrassônico instalado no reservatório

Fonte: 39 – Autoria própria

Feito isso, a função de leitura de volume de água do reservatório foi configurada para indicar o volume em mililitros e, depois, a função foi acessada através dos menus de navegação do display.

As dimensões do reservatório utilizado são apresentadas na tabela 4.

Base	20,0 cm
Altura	13,3 cm
Profundidade	8,7 cm
Volume total	2300 cm³ = 2300 ml

Tabela 4 – Dimensões do reservatório utilizado

Como o reservatório possui o formato de um prisma quadrangular (visando simplificar a determinação do volume total através da programação no PIC), seu volume foi determinado pelo produto entre a área da base e a altura do mesmo. Assim, para determinar o volume de água em mililitros presente no reservatório, foi utilizada a equivalência entre mililitros e centímetros cúbicos. Dessa forma, basta medir a altura de água presente no reservatório e multiplicar pela área da base (constante) para se obter o volume de água.

Como o sensor é utilizado para medir a distância até a água, a altura de água é calculada através da diferença entre a altura total do reservatório (medida da base do sensor até o fundo do reservatório) e a distância medida pelo sensor até a superfície da água. Com isso, quanto maior a distância medida pelo sensor, menor é a altura da água presente no reservatório e, conseqüentemente, menor é o volume de água.

Inicialmente, com o reservatório totalmente vazio, o display indicava a leitura de 0 ml, conforme mostrado na Figura 40.



Figura 40 – Sensor medindo volume zero de água com reservatório vazio

Fonte: 40 – Autoria própria

Devido às limitações do próprio sensor, o mesmo não é capaz de realizar medições com precisão milimétrica, apenas a cada centímetro.

Por outro lado, nesta aplicação específica, não é exigida uma grande precisão nas medições, visto que se o volume de água do reservatório variar menos de um centímetro, não deve representar uma grande diferença no volume de água presente.

Para testar o sensor foram adicionadas quantidades de água equivalentes a 1 centímetro de altura de água, o que equivale a aproximadamente 115ml de água, ou 5% de seu volume total. Do reservatório vazio até atingir a maior quantidade possível de água sem atingir o sensor, foram feitas 18 adições de água, conforme consta na tabela a seguir.

Medição	Béquer	Volume Sensor (medido)	Volume Total(calculado)
1	~115 ml	115 ml	~115 ml
2	~115 ml	231 ml	~230 ml
3	~115 ml	347 ml	~345 ml
4	~115 ml	462 ml	~460 ml
5	~115 ml	578 ml	~575 ml
6	~115 ml	694 ml	~690 ml
7	~115 ml	694 ml	~805 ml
8	~115 ml	809 ml	~920 ml
9	~115 ml	1041 ml	~1035 ml
10	~115 ml	1157 ml	~1150 ml
11	~115 ml	1272 ml	~1265 ml
12	~115 ml	1388 ml	~1380 ml
13	~115 ml	1504 ml	~1495 ml
14	~115 ml	1619 ml	~1610 ml
15	~115 ml	1735 ml	~1725 ml
16	~115 ml	1851 ml	~1840 ml
17	~115 ml	1967 ml	~1955 ml
18	~115 ml	1619 ml	~2070 ml

Tabela 5 – Medições de volume de água com sensor ultrassônico

De modo geral, o sensor se comportou bem, e permitiu estimar com boa aproximação o volume de água do reservatório. Apenas algumas medições apresentaram intermitências entre um intervalo de leitura e outro, porém, isso é normal dadas as características limitantes do sensor, bem como possíveis erros associados à medição de quantidade de água, pequenas flutuações na tensão de alimentação e afins.

Um ponto importante a se analisar para o uso deste sensor, é sua faixa de operação. O fabricante indica que este sensor pode medir distâncias de 3 cm a 400 cm. Isso significa que para uma distância menor do que 3 cm, o sensor pode não funcionar corretamente. Durante os testes, foi possível observar isso através das últimas medições realizadas.

Conforme consta na tabela 5, a medição 17 indicava 1967 ml de água, porém, a distância aproximada entre o sensor e a superfície da água no momento dessa medição era de aproximadamente de 2 cm.

Logo, ao se adicionar mais 115 ml de água, o sensor passou a trabalhar fora do seu range de operação recomendado pelo fabricante, medindo uma distância inferior a 2 cm.

Isso explica porque a medição 18 passou a indicar um volume de 1619 ml de água, ao invés de um valor maior.

Dessa forma, para evitar indicações incorretas, foi acrescentada na programação uma condição que delimita a leitura do sensor para uma distância mínima de 3 cm, gerando uma mensagem de erro caso o sensor passe a trabalhar fora desse limite.

A distância mínima de 3 cm foi escolhida para que o sensor não trabalhe no limiar de seu limite de operação, pois se fosse configurado para apenas 2 cm, leituras indevidas poderiam ser geradas com maior frequência.

4.4.CONCLUSÃO PARCIAL

Os sensores capacitivos de umidade do solo testados se mostraram efetivos, uma vez que são capazes de traduzir o aumento da umidade gravimétrica do solo em níveis de tensão progressivamente menores. Isso possibilita que através do conversor analógico/digital do PIC, essa variação seja medida e se permita rastrear o momento mais interessante para realizar a irrigação de culturas de acordo com esse valor de tensão. Além disso, pelo fato de os sensores apresentarem uma maior sensibilidade para valores menores de umidade gravimétrica do solo, é possível buscar por culturas com menor necessidade de água, de modo a se extrair o melhor desempenho possível do protótipo proposto. Da mesma forma, o sensor ultrassônico testado apresentou resultados satisfatórios e suficientes para aplicação no protótipo proposto, permitindo monitorar o volume de água de um reservatório com boa representatividade do conteúdo de água real, além de ser capaz de garantir a proteção de bombas de irrigação que não podem funcionar sem a presença de água.

5. DESENVOLVIMENTO DE MAQUETE E TESTES DE DESEMPENHO

Este capítulo apresenta as etapas de desenvolvimento da maquete idealizada para demonstrar o funcionamento do sistema proposto neste projeto e para avaliar o desempenho do sistema desenvolvido por meio de testes práticos.

5.1. DESENVOLVIMENTO DA MAQUETE

Para permitir a demonstração do sistema proposto neste trabalho, era necessário montar uma maquete capaz de comportar um reservatório de água, uma bomba de irrigação, tubulações das linhas de transmissão da irrigação, três válvulas (uma para cada grupo de cultivo), e no mínimo 3 porções de solo para receber os 3 sensores de umidade do solo anteriormente testados. Além disso, deveria haver espaço para instalação do sistema de monitoramento e controle.

Para isso, foi utilizada uma placa de compensado em mdf, a qual serviu como base para instalação do kit de micro irrigação por gotejamento previamente apresentado neste trabalho, além dos demais componentes necessários como válvulas, reservatório de água, bomba de irrigação, fonte de alimentação e demais conexões.

A Figura 41 apresenta o início da montagem, com cortes em isopor para criar alojamentos para as porções de solo.

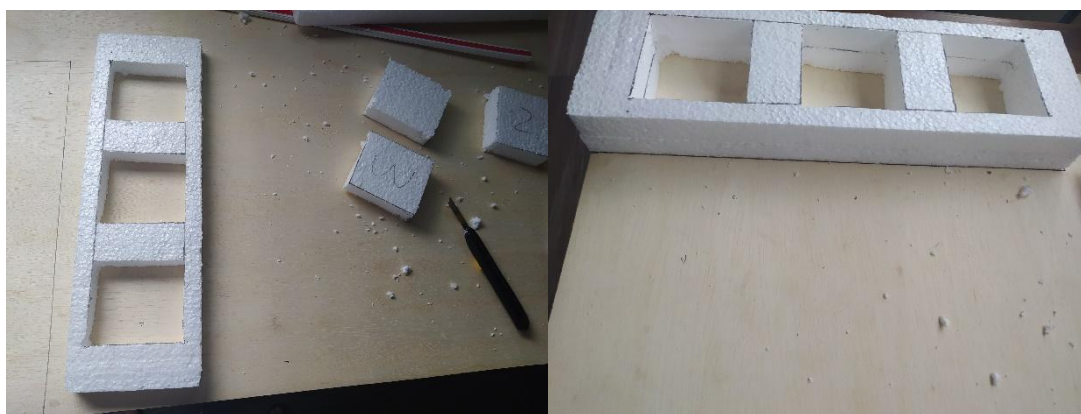


Figura 41 – Montagem dos alojamentos para porções de solo

Fonte: 41 – Autoria própria

Já a Figura 42 apresenta a montagem dos gotejadores nas válvulas e das estacas gotejadoras.



Figura 42 – Montagem dos gotejadores nas válvulas (lado esquerdo) e das estacas gotejadoras (lado direito) Fonte: 42 – Autoria própria

Para fixar o sensor ultrassônico no reservatório, foi utilizado um suporte plástico, dando origem ao conjunto reservatório com sensor, bomba de irrigação e tubulação principal, conforme mostrado na figura 43.



Figura 43–Instalação do sensor ultrassônico para leitura de volume de água do reservatório

Fonte: 43 – Autoria própria

Uma vez conectados todos os componentes hidráulicos do sistema, foram adicionados os componentes eletroeletrônicos necessários para permitir o acionamento da bomba e das válvulas. O resultado final da montagem pode ser verificado na imagem abaixo.



Figura 44 - Base principal da maquete concluída

Fonte: 44 – Autoria própria

Dessa forma, obteve-se como resultado uma maquete interessante para realizar testes das funções de monitoramento e controle propostas nesse projeto.

5.2. TESTES DE DESEMPENHO

Para testar o desempenho das funções de monitoramento e controle propostas neste trabalho, foi montada uma configuração de testes utilizando a maquete e a placa-protótipo desenvolvidas, conforme mostradas nas Figuras 45 e 46.

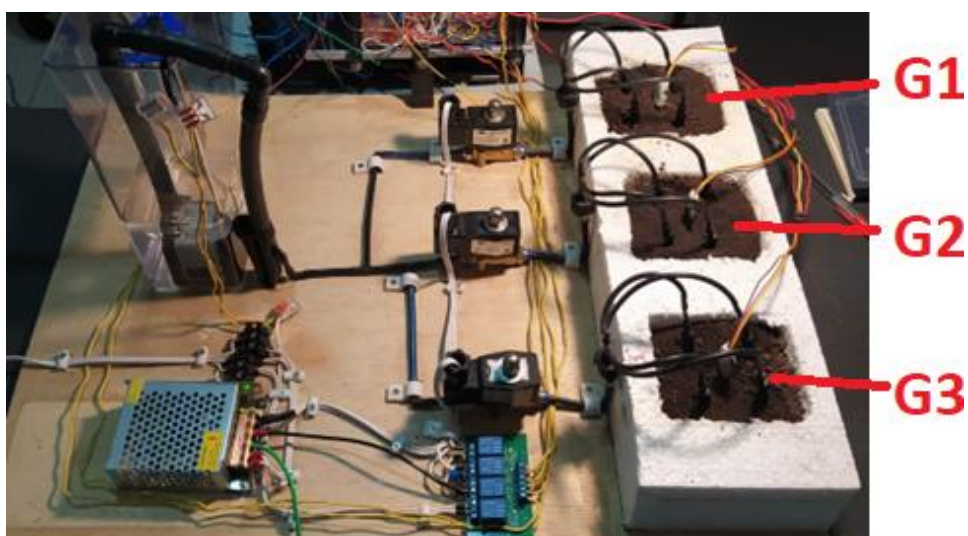


Figura 45 - Configuração de testes em maquete

Fonte: 45 – Autoria própria

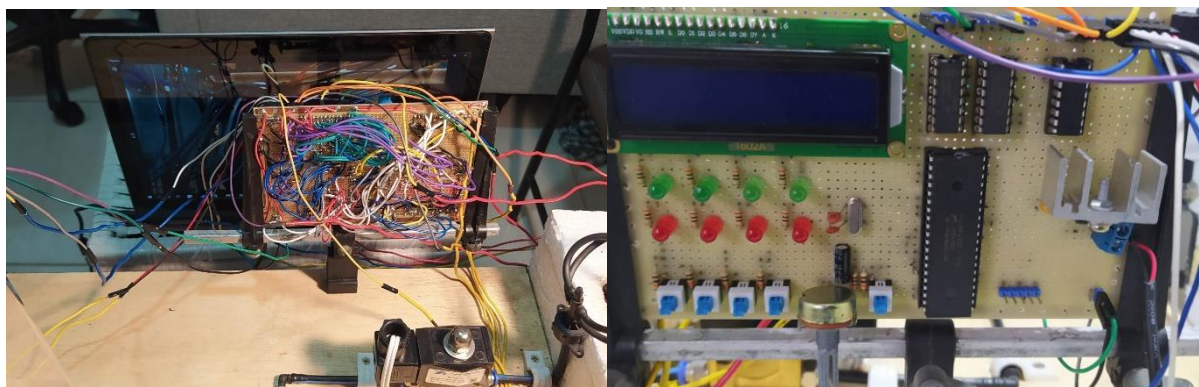


Figura 46 – Placa protótipo parte traseira (lado esquerdo) e parte frontal (lado direito).

Fonte: 46 – Autoria própria

Uma vez montada a configuração, foi adotada uma metodologia para testar as funções do sistema consistindo na divisão dos testes por partes.

Primeiramente, para permitir analisar os resultados, foram anotados os valores iniciais de referência da umidade do solo dos três grupos de cultivo (G1, G2 e G3) além do volume percentual de água do reservatório. Os dados foram transportados para a Tabela 6.

Variável	Local	Medição
Umidade do solo	Grupo 1	7%
Umidade do solo	Grupo 2	13%
Umidade do solo	Grupo 3	15%
Volume percentual de água	Reservatório	0%

Tabela 6 – Condições iniciais dos testes

Feito isso, foram iniciadas as etapas do teste de desempenho conforme a seguir.

Etapa I -Configuração dos parâmetros de setpoint e histerese de umidade percentual do solo e volume percentual de água do reservatório.

A parametrização inserida no sistema foi feita conforme mostrado na Tabela 7.

Parâmetro	Ajuste	Local
Setpoint de umidade do solo	5%	Grupo 1
Histerese de umidade do solo	10%	
Setpoint de umidade do solo	20%	Grupo 2
Histerese de umidade do solo	10%	
Setpoint de umidade do solo	25%	Grupo 3
Histerese de umidade do solo	10%	
Setpoint de volume de água	30%	Reservatório
Histerese de volume de água	20%	

Tabela 7 – Parâmetros ajustados para teste de desempenho

Com o objetivo de facilitar a avaliação do sistema, os ajustes realizados até este ponto foram feitos apenas com a placa-protótipo ligada, mantendo a parte de comando de bomba e válvulas desenergizado.

Etapa II - Avaliação do impedimento de acionamento por falta de água no reservatório

- Com o reservatório de água totalmente vazio, indicando 0% de volume de água, a parte de comando foi conectada à energia (fonte 24 Vcc para alimentar válvulas solenoide e 127 Vca da rede para alimentar a bomba).

- Nesta condição, apesar dos percentuais de umidade abaixo do valor de setpoint dos 3 grupos, as cargas permaneceram desligadas graças à função de proteção que detectou o reservatório totalmente vazio.

- Então, o reservatório foi manualmente abastecido até atingir volume de água suficiente para desbloquear o acionamento da bomba e das válvulas.

- Imediatamente as válvulas dos grupos 2 e 3 foram abertas e a bomba foi acionada, iniciando a irrigação destes grupos, conforme o esperado.

- Alguns segundos depois, apesar de não esperado, o grupo 1 também iniciou o processo de irrigação. Isso se deve pois o ajuste de setpoint ficou muito próximo do valor de umidade daquele momento, sofrendo uma pequena flutuação de 2% suficiente para iniciar a irrigação, fazendo com que os três grupos fossem irrigados ao mesmo tempo (maquete trabalhando na capacidade máxima).

Etapa III – Avaliação do monitoramento e controle da irrigação

- A partir de então, a umidade dos grupos foi monitorada atentamente através do display LCD de modo a verificar o comportamento das leituras do conversor A/D do PIC durante a irrigação, bem como o fim do processo de irrigação de cada grupo de acordo com seu respectivo ajuste.

Esta etapa ocorreu sem problemas, e cada válvula interrompeu a irrigação do seu respectivo grupo conforme os ajustes de setpoint e histerese da Tabela 7.

Neste caso, para avaliar o desempenho do sistema, foram tomadas algumas medidas de tempo como referência. Estas medidas foram tomadas através de vídeos dos testes que foram gravados e posteriormente analisados. Os resultados são apresentados nas tabelas 8 e 9.

Tempo do início da irrigação até a sensibilização do sensor – t_0	
t_0 – Grupo 1	3 min. 8 s
t_0 – Grupo 2	2 min. 31 s
t_0 – Grupo 3	3 min. 22 s

Tabela 8 – Tempo para sensibilização dos sensores

A Tabela 8 apresenta o tempo t_0 , que foi definido como o tempo levado para cada sensor começar a variar sua leitura inicial, contando a partir da abertura da válvula do respectivo grupo do sensor.

Tempo do início da irrigação até o fim da irrigação – t_1	
t_1 – Grupo 1	5 min. 43 s
t_1 – Grupo 2	2 min. 34 s
t_1 – Grupo 3	5 min. 41 s

Tabela 9– Tempos de um ciclo completo de irrigação

Já a Tabela 9 apresenta os tempos que foram necessários para um ciclo completo de irrigação de cada grupo, de acordo com seus respectivos ajustes de setpoint e histerese.

Isso mostra que em determinadas condições os sensores podem apresentar comportamento uniforme, e em outras não. Isso depende de diversas variáveis como a posição das estacas gotejadores, profundidade do sensor, tipo de solo, entre outras.

Além destes tempos, também foi observado o intervalo de tempo entre o atingimento do setpoint e a efetiva abertura das válvulas, porém, a resposta se mostrou praticamente instantânea à olho nu, podendo se ter como referência apenas especificações como, por exemplo, o tempo de resposta do módulo de relés que varia entre 5 ms e 10 ms.

Etapa IV – Avaliação do desligamento do sistema por queda no volume de água do reservatório

Para finalizar a avaliação, faltava verificar o comportamento do sistema caso o volume de água caísse abaixo do setpoint ajustado enquanto o sistema estivesse irrigando algum grupo,

Para isso, foi utilizada uma bomba manual de sucção que ficou instalada dentro do reservatório, permitindo a drenagem da água para simular essa queda. O resultado foi

satisfatório, verificando-se o desligamento da bomba e abertura da válvula assim que o setpoint é atingido.

5.3. CONCLUSÃO PARCIAL

Através da avaliação de desempenho do sistema completo utilizando a maquete, a qual foi desenvolvida justamente como uma forma de simular um sistema de irrigação real, foi possível validar todas as funções de monitoramento e controle propostas para este protótipo, mostrando sua aplicabilidade prática e ainda permitindo aprofundar a análise sobre o comportamento dos sensores de umidade do solo, os quais não estão trabalhando na melhor condição possível de funcionamento (tendo em vista que seu sinal de saída é de 0V a 3V e que o conversor A/D interno do PIC trabalha com um range de 0V a 5V) mas que mesmo assim, com alguns ajustes, conseguiram entregar um bom resultado.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu realizar a integração de diversos conhecimentos de Eletrônica Industrial adquiridos ao longo da graduação, tendo sido utilizados todos os meios disponíveis para a obtenção de um protótipo que atenda aos requisitos mínimos da proposta, como o uso de softwares de desenvolvimento e simulação de circuitos, conhecimentos diversos da área da Eletrônica, além de conhecimentos agregados desenvolvidos ao longo do trabalho envolvendo metodologia científica para obtenção de resultados.

O protótipo desenvolvido foi capaz de permitir, dentro de certas limitações, o monitoramento e controle da umidade do solo utilizando como elemento central o sensor capacitivo de umidade do solo CS12. Através do levantamento das curvas que relacionam o sinal de tensão na saída de três sensores CS12 em função da umidade gravimétrica do solo, foi possível observar a capacidade dos sensores de traduzir o aumento da umidade do solo em valores progressivamente menores de tensão, possibilitando a conversão e tratamento deste sinal para desenvolver soluções em projetos de irrigação das mais diversas topologias. Observou-se que os sensores possuem maior sensibilidade para valores de umidade gravimétrica do solo aproximadamente entre 0% e 10%, passando a diminuir sua sensibilidade para valores de 10% até aproximadamente 70%, além de não serem sensibilizados para valores acima de 70%.

No caso específico deste trabalho, foi adotada a topologia de micro irrigação por gotejamento, pois além da facilidade para testar e demonstrar, representa um sistema eficiente em cenários de racionalização do uso de água e energia, tema que a cada década, ganha mais força na seara ambiental, o que torna este trabalho um grande motivador para o desenvolvimento de soluções ecológicas que permitam amenizar os impactos causados ao meio ambiente por sistemas ineficientes.

Vale ressaltar que os sensores CS12 utilizados apresentaram sinais analógicos de saída com um range de aproximadamente 1,5V a 3,5V, enquanto o conversor A/D do PIC18F4550 trabalha com um range de 0V a 5V, indicando que a precisão da leitura dos sensores quando em operação ficou comprometida, apesar de mantida a proporcionalidade das medições realizadas. Logo, é possível melhorar a precisão das leituras dos sensores através da compatibilização do sinal do sensor para um range de 0V a 5V.

Evidentemente, o sensor CS12 possui características voltadas para pequenos projetos, não possuindo a sofisticação necessária para ser implementado em grandes sistemas produtivos, porém, o sistema proposto não fica dependente de um único modelo de sensor,

podendo trabalhar com diversos tipos de sensores de umidade, desde que atendam aos requisitos de compatibilidade como range de operação, tensão de trabalho, consumo de corrente, etc.

Além disso, apesar da característica do sensor CS12 de possuir maior sensibilidade para valores menores de umidade do solo, isso pode direcioná-lo para uma aplicação específica em culturas que possuem baixa necessidade de água. Da mesma forma, pode ser aplicado em cultura vertical e sistemas de paisagismo externo.

E nada disso seria possível sem a abrangência da Eletrônica Industrial, área responsável por pavimentar o desenvolvimento tecnológico da sociedade, partindo de simples protótipos como o desenvolvido neste trabalho, mas com inúmeras possibilidades de aplicações.

7. TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo tem por objetivo levantar a possibilidade de algumas melhorias que foram discutidas durante a execução do projeto e futuramente podem ser implementadas, visando otimizar o sistema de monitoramento e controle.

- Implementação de circuito para condicionamento dos sinais dos sensores de umidade do solo, de modo a compatibilizar seu range de tensão de saída (entre 1,6V e 3,6V aproximadamente) com o range de trabalho do microcontrolador PIC18F4550 (0V a 5V), permitindo ampliar sua precisão, gerando medições mais confiáveis.

- Implementação de sistema supervisor com o software Visual Studio para permitir visualizar as variáveis do processo (umidade e volume) e ajustar parâmetros do sistema através de um computador.

- Implementação de um protocolo de comunicação sem fio, permitindo a conexão remota do circuito de controle com o circuito de comando.

- Confecção de modelos diversos de placas de circuito impresso (V1.0, V2.0, etc), com diferentes quantidades de entradas para sensores de umidade do solo, e de saídas para acionamento de válvulas diversas.

- Estudo de interferências relacionadas ao comprimento dos cabos de ligação de sensores, e de outras possíveis fontes de interferência, assim como, implementação de soluções para o problema, por exemplo, por meio de filtros para sensores.

- Adição de funções audiovisuais que detectem anomalias no sistema, gerando diferentes formas de alerta como avisos sonoros, mensagens no display e no sistema supervisor, envio de SMS e e-mail para usuários cadastrados, etc. Por exemplo, gerando alertas quando o algoritmo de leitura dos sensores de umidade do solo detecte uma leitura discrepante de algum sensor, permitindo verificar por exemplo, se um gotejador próximo ao sensor está entupido, ou se o sensor está com algum problema.

- Desenvolvimento de aplicativo para smartphones que permita acompanhar o processo em tempo real, além de permitir ajustes de parâmetros do sistema.

- Adição de restrições de acesso ao sistema, tanto via LCD quanto via software, exigindo acesso por meio de usuário e/ou senha.

- Sistema de aquisição de dados que permita levantar informações como consumo de água com a irrigação, tempo de operação da bomba, tempo de operação e de ociosidade do sistema de irrigação, épocas do ano com maior necessidade de irrigação, dentre outras funções.

- Adição de um sensor de nível do tipo boia instalado próximo ao sensor ultrassônico, de modo que, caso o nível de água chegue muito próximo da sua distância mínima de operação (aproximadamente 2 cm), o sensor do tipo boia sirva como uma redundância para a detecção de nível máximo de água, gerando uma interrupção no abastecimento do reservatório e protegendo o sensor ultrassônico de danos, além de garantir que o sensor não opere fora da sua faixa nominal de trabalho vindo a gerar medições incorretas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WORLD RESOURCES INSTITUTE. Ranking mostra onde há maior risco de faltar água no Brasil e no mundo. Artigo 2019. Disponível em <https://wribrasil.org.br/noticias/ranking-mostra-onde-ha-maior-risco-de-faltar-agua-no-brasil-e-no-mundo#>. Acesso em 21/06/2022.
- [2] BRASIL ESCOLA. Atividades que mais consomem água. Disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/atividades-que-mais-consoem-agua.htm>. Acesso em 21/06/2022.
- [3] SANTOS, Beatriz Lorena. Sistema automatizado para controle de umidade e temperatura em cultura de morangos aplicados aos pequenos agricultores. UniCEUB, 2014. 110 p.
- [4] FRIZONE, José Antônio. Notas de Aula da disciplina LEB 1571 – Irrigação. ESALQ/USP, Departamento de Engenharia de Biosistemas, 2017.
- [5] WIKI IFSC, Campus São José. Arquiteturas: Von-Neumann x Harvard. Disponível em https://wiki.sj.ifsc.edu.br/index.php/MCO018703_2020_2_AULA01. Acesso em 24/06/2022.
- [6] CARVALHO, Matheus Souza de. Sensor para monitoramento de umidade do solo utilizando energia solar, Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia de Software, 2016. 46 p.
- [7] COELHO, Eugenio Ferreira [et al.]. Sistemas e manejo de irrigação de baixo custo para agricultura familiar. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2017. 45 p.
- [8] CRUZ, Tadeu M. L. [et al.]. AVALIAÇÃO DE SENSOR CAPACITIVO PARA O MONITORAMENTO DO TEOR DE ÁGUA DO SOLO. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.1, p.33-45, 2010.
- [9] SOUZA, G. B. de; NOGUEIRA, A. R. de A.; RASSINI, J. B. Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com forno de microondas doméstico. Folhetos. Embrapa Pecuária Sudeste, 2002
- [10] FONSECA, S.O. [et al.]. AVALIAÇÃO DO MÉTODO DO FORNO MICROONDAS PARA A DETERMINAÇÃO DE UMIDADE DO SOLO EM RELAÇÃO AO MÉTODO PADRÃO DE ESTUFA. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias/Departamento de Engenharia Rural. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2011.
- [11] DE SOUZA, David José. Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16F628A. Saraiva Educação SA, 2005.

ANEXO A – Código fonte em linguagem C

/******

PROJETO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL - FATEC-SP

TÍTULO:

SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO VISANDO AUTOMATIZAÇÃO DE IRRIGAÇÃO

AUTORES: André Oliveira Silva

Luis Henrique Lourenço

Michel de Oliveira Nascimento ANO DE CONCLUSÃO: 2022

SETUP:

Microcontrolador PIC18F4550

Oscilador Externo 8MHz

Compilador mikroC PRO for PIC v7.6.0

*****/

//Pinagem do Display LCD

sbit LCD_RS at RD2_bit;

sbit LCD_EN at RD3_bit;

sbit LCD_D4 at RD4_bit;

sbit LCD_D5 at RD5_bit;

sbit LCD_D6 at RD6_bit;

sbit LCD_D7 at RD7_bit;

sbitLCD_RS_Directionat TRISD2_bit;

sbitLCD_EN_Directionat TRISD3_bit;

sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;

sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;

sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;

sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;

```
//Diretivas de Pré Processamento

#define Back PORTC.RC0 //Botão para voltar ao menu anterior
#define Enter PORTC.RC1 //Botão para acessar menu selecionado
#define Esq PORTD.RD0 //Botão para navegar no menu para a esquerda
#define Dir PORTD.RD1 //Botão para navegar no menu para a direita

#define A PORTB.RB4 //Bit de endereçamento multiplexador analógico
#define B PORTB.RB0 //Bit de endereçamento multiplexador analógico

#define CLOCK PORTB.RB5
#define LATCH PORTB.RB6
#define DATA PORTB.RB7

#define Trigger PORTA.RA4 //Pino 6
//ECHO no PORTC.RC2 (CCP1) - Pino 17

//Referências para auxiliar no loop de cada menu
#define nMenu 3 //Número de telas do menu principal
#define nSMenu 3 //Número de telas do Smenu

#define flagEsq controleLCD.B0 //Flag de controle do botão de navegação para esquerda
#define flagDir controleLCD.B1 //Flag de controle do botão de navegação para direita
#define flagEnter controleLCD.B2 //Flag de controle do botão Enter
#define flagBack controleLCD.B3 //Flag de controle do botão Esc
#define limpaLCD controleLCD.B4 //Flag de controle de limpeza do LCD
#define piscaSP controleLCD.B5 //Flag auxiliar para piscar campo de ajuste do set point

#define nMaxGrupos 10 //Numero máximo de entradas analógicas para grupos de
sensores de umidade (exceto AN0)

#define nPadrao 1 //Quantidade de sensores por grupo

#define Padrao_SP_U 0
```

```
#define Padrao_H_U 5
#define Padrao_SP_V 25
#define PadraoH_V 5

//Protótipo de Funções//

//Main Menu
voidMenuUmidade(); //Função para acessar os parâmetros dos sensores de umidade
voidMenuVolume(); //Função para acessar os parâmetros do sensor de nível do
reservatório
voidMenuReset(); //Função para resetar ajustes de SetPoint e Histerese aos valores iniciais
(reset de fabrica)

//SMenu
voidSMenuLeitura(); //UMIDADE
voidSMenuSetPoint();
voidSMenuHisterese();
voidSMenuSensores();

voidSMenuLeituraVol(); //VOLUME
voidSMenuSPVol();
voidSMenuHistVol();

voidSMenuReset(); //CONFIGURAÇÕES GERAIS

//SSMenu
voidSSMenuLerUmidGn(); //Exibe opção de leitura da umidade do grupo 1
voidSSMenuSPUmidGn(); //Exibe opção de setpoint da umidade do grupo 1
voidSSMenuHistUmidGn(); //
voidSSMenuSensores();

voidSSMenuLerVolume(); //
voidSSMenuSPVolume();
```

```
voidSSMenuHistVolume();
```

```
//SSMenu
```

```
voidSSMenuSP(); //Exibe tela para ajuste do setpoint do sensor de umidade
```

```
voidSSMenuHist();
```

```
//voidSSMenuSensores();
```

```
//SSSSMenu
```

```
//voidSSSSMenuCal(); //Exibe mensagem para confirmar início da calibração do sensor de umidade
```

```
voidLerBotoes(); //Função para leitura dos botões de navegação do display
```

```
voidLimpezaLCD(); //Função para limpar tela do LCD apenas uma vez por solicitação
```

```
voidLeituraGn(); //Função para leitura analógica dos grupos de sensores de umidade
```

```
voidControleGn(); //Função para controle de saídas de acordo com set point de umidade
```

```
voidVarredura();
```

```
voidDistancia();
```

```
voidGatilho();
```

```
bit S0,
```

```
    S1,
```

```
    S2,
```

```
    S3;
```

```
//Declaração de Variáveis Globais
```

```
unsignedchar controleLCD = 0x00, //Variável de 8 bits para auxiliar teste de botões (se foram pressionados e soltos).
```

```
    menu = 0x01, //Armazena número da tela atual do menu
```



```

Smenu    = 0x00, //Armazena número da tela atual do Smenu
SSmenu   = 0x00, //Armazena número da tela atual do SSmenu
SSSmenu  = 0x00, //Armazena número da tela atual do SSSmenu
SSSSmenu = 0x00, //Armazena número da tela atual do SSSSmenu
auxD     = 0x00, //Auxiliar para saber qual camada está sendo exibida (menu, Smenu,
SSmenu, etc)
        solo    = 0x00, //Auxiliar na seleção da calibração do sensor de
umidade(seco/umido)
pos      = 0x00, //Auxiliar para navegar entre posições do array
aux      = 0x00, //Auxiliar para piscar dígitos de ajuste (SP e Histerese)
        Faixa_S0 = 0x00, //Faixa 1: 0 a 255
        Faixa_S1 = 0x00, //Faixa 2: 256 a 512
        Faixa_S2 = 0x00, //Faixa 3: 513 a 768
        Faixa_S3 = 0x00, //Faixa 4: 769 a 1024
Faixa_maior = 0x00,

        cont1    = 0x00,
        cont2    = 0x00,
        cont3    = 0x00,
        cont4    = 0x00,

cont[4],
quantidade[4],
posAtual  = 0x00,
posMaior  = 0x00,
flagFuncao = 0x00, //Flag de identificacao de funcao selecionada para umidade (1 -
leitura / 3 - set point / 4 - Histerese / 5 - Quantidade Sensores)
flagNaveg = 0x00, //Flag para bloquear incremento dos menus indevidamente
flagShift = 0x00, //Flag para auxiliar na função de piscar dígitos de ajuste
byteBomba = 0x00,
//      EEP_Soma = 0x00,
flagMenu  = 0x00; //Flag de identificação de menu selecionado (1 - Umidade, 2 -
Volume, 3 - Reset)

//Para ajustes de Set Point e Histerese

```

```

unsigned short nGrupo    = 0x01, //Auxiliar na seleção do grupo de sensor de umidade a
ser lido

nGrupoMax    = 0x03, //Define quantidade de grupos de sensores instalados
    Canal    = 0x00,

novoSP_U    = Padrao_SP_U, //Armazena ajuste atual do set point de umidade
novoH_U    = Padrao_H_U, //Armazena ajuste atual de histerese de umidade
novoSP_V    = Padrao_SP_V, //Armazena ajuste atual do set point de volume
novoH_V    = PadraoH_V, //Armazena ajuste atual de histerese de volume
novoSensores = nPadrao; //Armazena ajuste atual de quantidade de sensores instalados

unsignedchar atualSP_U[4], //
atualH_U[4],
nSensores,
atualSP_V,
atualH_V;

char Vpct_STR[15],
iVmL_STR[4]; //String para volume em mL no LCD

    //ds_STR[7]; //String para distancia em cm no LCD

unsigned char nGrupoSTR[4],
atualSP_U_STR[4], //String SP Umidade
atualH_U_STR[4], //String Histerese Umidade
atualSP_V_STR[4], //String SP Volume
atualH_V_STR[4], //String Histerese Volume
novoSP_U_STR[4], //String SP padrão Umidade
novoH_U_STR[4], //String Histerese padrão Umidade
novoSP_V_STR[4], //String SP padrão Volume
novoH_V_STR[4], //String Histerese padrão Volume
nSensores_STR[4],
novoSensores_STR[4],

```

```
//Vpct_STR[2], //String para volume percentual no LCD

mediaG1_STR[15],
mediaG2_STR[15],
mediaG3_STR[15],

EEP_READ_STR[3],

TempoH,
TempoL;

unsignedint auxVarredura_S0[3], //Três posições, uma para cada grupo.
auxVarredura_S1[3],
auxVarredura_S2[3],
auxVarredura_S3[3],
soma = 0,
controleAtualSP[16],
flagBomba[16],
saida[16],
flagProtecao,
auxProtecao,
nGrupos,
EEP_Zerada[10],
controleSoloPercentual[16],
mediaGn[16],
mediaG1,
mediaG2,
mediaG3,
EEP_READ,
periodo, //Periodo do pulso de echo do sensor ultrassonico
```

```

ds, //Distância medida pelo sensor ultrassônico em centímetros
Vpct,
    //iVmL, //Volume atual em mL do tipo inteiro (desconsidera casas decimais)
    //tVmL, //Volume total em mL do tipo inteiro (desconsidera casas decimais)
    //intVpct,
leituraSoloPercentual = 0; //Valor percentual de umidade (0% a 100%)

floatumidadeGn[4], //Recebe leituras de umidade do solo do grupo 1 de sensores
soloSeco[nMaxGrupos],
soloUmido[nMaxGrupos],
controleSoloAtual[16],
leituraSoloAtual = 0, //Leitura dos sensores de umidade (0 a 1023)
hr = 19.0, //Altura total do reservatório a partir da base do sensor(19 cm)
br = 13.3, //Base total do reservatório (13.3 cm)
pr = 8.7, //Profundidade total do reservatório (8.7 cm)
ha, //Altura da água presente no reservatório em milímetros
VmL, //Volume atual do reservatório em mililitros
iVmL, //
tVmL, //Volume total do reservatório em mililitros
    //Vpct, //Volume atual do reservatório em valor percentual
    x1,
    x2;

voidmain()
{
    CMCON = 0x07;

    //0b76543210
    TRISA = 0b11101111; //RA4 como saída (Trigger HC-SR04)
    PORTA = 0b00000000;

    TRISB = 0b00001110;

```

```
PORTB = 0b00000000;
```

```
TRISC = 0b00000111;
```

```
PORTC = 0b00000111;
```

```
TRISD = 0b00000011; //RD0 e RD1 como entrada
```

```
PORTD = 0b00000000;
```

```
TRISE.RE0 = 1;
```

```
PORTE.RE0 = 0;
```

```
TRISE.RE1 = 1;
```

```
PORTE.RE1 = 0;
```

```
TRISE.RE2 = 1;
```

```
PORTE.RE2 = 0;
```

```
INTCON = 0b11100000; //Habilita interrupção geral / Habilita interrupção de periféricos -  
Timer0 Habilidade
```

```
ADCON0 = 0b00000101; //Canal AN0 Selecionado - Conversão AD em espera - Módulo  
A/D habilitado
```

```
ADCON1 = 0b00000100; //Vref- = Tensão Externa (1,7V) / Vref+ = Vdd / A/D nas portas  
AN0 até AN10 e I/O DIGITAL em AN11 e AN12
```

```
ADCON2 = 0b00000110; //ADC Justificado à esquerda / 0 TAD / Clock de Conversão  
Fosc/64
```

```
T0CON = 0b00000011; //Timer0 desligado / Modo 16 bits / Clock interno / Prescaler 1:16
```

```
TMR0H = 0x0B; //Carga inicial do Timer0 para Tempo de Estouro = 0.5s
```

```
TMR0L = 0xDC;
```

```
TMR1IE_bit = 0x00; //Desabilita interrupção do Timer1
```

```
CCP1IE_bit = 0x01; //Habilita interrupções pelo CCP1
```

```
CCP1CON = 0x05; //Configura CCP1 para borda de subida
```

```
T1CKPS1_bit = 0x00; //Prescaler do Timer1 em 1:2 (para deixar clock em 1MHz ou 1us)
```

```
T1CKPS0_bit = 0x01;
```

```
TMR1CS_bit = 0x00; //Ciclo de Máquina FOSC/4
```

```
TMR1ON_bit = 0x00; //Desabilita Timer1
```

```
Lcd_Init();
```

```
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
```

```
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
```

```
//AJUSTES PADRÃO
```

```
for(pos = 1; pos<= nGrupoMax; pos++)
```

```
soloSeco[pos] = 790.0; //Calibração padrão dos grupos de sensores para solo seco
```

```
for(pos = 1; pos<= nGrupoMax; pos++)
```

```
soloUmido[pos] = 400.0; //Calibração padrão dos grupos de sensores para solo seco
```

```
for(pos = 0; pos<= 10; pos++)//Configuração de armazenamento de ajustes na EEPROM
```

```
{
```

```
if(EEPROM_Read(pos) == 0xFF)//Caso ainda não tenha dados gravados na EEPROM
```

```
EEP_Zerada[pos] = 1;//Bit de memória zerado
```

```
else
```

```
EEP_Zerada[pos] = 0;//Bit de memória já escrito
```

```
}
```

```
for(pos = 0; pos<= 10; pos++)//Configuração de armazenamento de ajustes na EEPROM
```

```
{
```

```
if(pos>=0 &&pos<4) //SET POINT UMIDADE
```

```
{
```

```
atualSP_U[pos] = 0X00; //Define SetPoint padrão inicial de umidade
```

```
if(EEP_Zerada[pos] == 0)
```

```
atualSP_U[pos] = EEPROM_Read(pos);
}

elseif(pos>=4 &&pos<8) //HISTERESE UMIDADE
{
atualH_U[pos-3] = 0X05; //Define histerese padrão inicial de umidade

if(EEP_Zerada[pos] == 0)
atualH_U[pos-3] = EEPROM_Read(pos);
}

elseif(pos == 8)//SET POINT VOLUME
{
if(EEP_Zerada[pos] == 1)
atualSP_V = 0x19; //Volume mínimo do reservatório em 25% para manter bomba submersa

elseif(EEP_Zerada[pos] == 0)
atualSP_V = EEPROM_Read(pos);
}

elseif(pos == 9)//HISTERESE VOLUME
{
atualH_V = 0x05;

if(EEP_Zerada[pos] == 0)
atualH_V = EEPROM_Read(pos);
}

elseif(pos == 10)//QUANTIDADE DE SENSORES POR GRUPO
{
nSensores = 0x01;
```

```
if(EEP_Zerada[pos] == 0)
nSensores = EEPROM_Read(pos);
    }
}

while(1)
{

Distancia();
Varredura();

    LATCH = 0;
delay_us(1);
ControleGn();
    LATCH = 1;
delay_us(1);

LerBotoes(); //Executa função para leitura dos botões de navegação

    switch(menu) //Verifica variável de número da tela atual do menu
    {
        case 0x01: MenuUmidade(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
        case 0x02: MenuVolume(); break; //Caso 2, exibe menu do volume do reservatório
        case 0x03: MenuReset(); break; //Caso 3, exibe menu de reset de fábrica
    }
} //End switch menu
} //Endwhile
} //Endmain

void interrupt()
{
```



```

if(INTCON.TMR0IF == 1) //Estouro do timer0
{
  piscaSP = ~piscaSP;
  aux = 0x01;      //Vale 0x01 quando enter é pressionado (libera ajuste do set point)
  TMR0H = 0x0B;    //Carga inicial do Timer0 para Tempo de Estouro = 0.5s
  TMR0L = 0xDC;
  INTCON.TMR0IF = 0;
} //endif

if(CCP1IF_bit == 1 && CCP1CON.B0 == 1) //Captura através do CCP1 e detecção da borda
de subida
{
  CCP1IF_bit = 0x00; //Reseta flag do CCP1 para nova captura
  CCP1IE_bit = 0x00; //Desabilita interrupção por periféricos
  CCP1CON = 0x04; //Reconfigura CCP1 para borda de descida
  CCP1IE_bit = 0x01; //Habilita interrupção por periféricos
  TMR1H = 0x00; //Reseta contagem de tempo do Timer1
  TMR1L = 0x00;
  TMR1ON_bit = 0x01; //Habilita contagem de tempo do Timer1
} //endif

elseif(CCP1IF_bit)
{
  CCP1IF_bit = 0x00; //Reseta flag do CCP1 para nova captura
  TMR1ON_bit = 0x00; //Desabilita contagem de tempo do Timer1
  CCP1IE_bit = 0x00; //Desabilita interrupção por periféricos
  CCP1CON = 0x05; //Reconfigura CCP1 para borda de subida para nova leitura do
Echo
  CCP1IE_bit = 0x01; //Habilita interrupção por periféricos
  TempoH = TMR1H; //Carrega valores de tempo capturados (us)
  TempoL = TMR1L;
}

} //endinterrupt

```

```

voidVarredura()//Função para leitura ininterrupta dos sensores de umidade de cada grupo
{
    //INICIA VARREDURA PELA AN1
    for(Canal = 0x01; Canal <= nGrupoMax; Canal++) //Varredura dos 12 canais analógicos
    previstos para os sensores
    {

        if(nSensores>= 1)
        {
            //SENSOR S0
            A = 0; //LEITURA DO SENSOR S0 ATRAVÉS DO MUX
            B = 0;
            auxVarredura_S0[Canal] = ADC_Read(Canal+3);

            //Faixas Limite: (possíveis faixas de operação dos sensores)
            if(auxVarredura_S0[Canal] >= 400 && auxVarredura_S0[Canal] <= 533) {Faixa_S0 = 1;
            cont1++;} //S0 medindo entre 400 e 544 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
            elseif(auxVarredura_S0[Canal] >= 534 && auxVarredura_S0[Canal] <= 664) {Faixa_S0 =
            2; cont2++;} //S0 medindo entre 534 e 664 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
            elseif(auxVarredura_S0[Canal] >= 665 && auxVarredura_S0[Canal] <= 800) {Faixa_S0 =
            3; cont3++;} //S0 medindo entre 665 e 800 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
            delay_ms(5);
        }

        if(nSensores>= 2)
        {
            //SENSOR S1
            A = 1; //LEITURA DO SENSOR S1 ATRAVÉS DO MUX
            B = 0;
            auxVarredura_S1[Canal] = ADC_Read(Canal+3);

```

```

if(auxVarredura_S1[Canal] >= 400 && auxVarredura_S1[Canal] <= 533) {Faixa_S1 = 1;
cont1++;} //S1 medindo entre 400 e 533 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
elseif(auxVarredura_S1[Canal] >= 534 && auxVarredura_S1[Canal] <= 664) {Faixa_S1 =
2; cont2++;} //S1 medindo entre 534 e 554 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
elseif(auxVarredura_S1[Canal] >= 665 && auxVarredura_S1[Canal] <= 800) {Faixa_S1 =
3; cont3++;} //S1 medindo entre 665 e 800 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
delay_ms(5);
}

```

```

if(nSensores >= 3)

```

```

{

```

```

//SENSOR S2

```

```

    A = 0; //LEITURA DO SENSOR S2 ATRAVÉS DO MUX

```

```

    B = 1;

```

```

    auxVarredura_S2[Canal] = ADC_Read(Canal+3);

```

```

if(auxVarredura_S2[Canal] >= 400 && auxVarredura_S2[Canal] <= 533) {Faixa_S2 = 1;
cont1++;} //S2 medindo entre 400 e 533 / Conta quantos sensores estão nesta faixa

```

```

elseif(auxVarredura_S2[Canal] >= 534 && auxVarredura_S2[Canal] <= 664) {Faixa_S2 =
2; cont2++;} //S2 medindo entre 534 e 664 / Conta quantos sensores estão nesta faixa

```

```

elseif(auxVarredura_S2[Canal] >= 665 && auxVarredura_S2[Canal] <= 800) {Faixa_S2 =
3; cont3++;} //S2 medindo entre 665 e 800 / Conta quantos sensores estão nesta faixa

```

```

delay_ms(5);

```

```

}

```

```

if(nSensores >= 4)

```

```

{

```

```

//SENSOR S3

```

```

    A = 1; //LEITURA DO SENSOR S3 ATRAVÉS DO MUX

```

```

    B = 1;

```

```

    auxVarredura_S3[Canal] = ADC_Read(Canal+3);

```

```

if(auxVarredura_S3[Canal] >= 400 && auxVarredura_S3[Canal] <= 533) {Faixa_S3 = 1;
cont1++;} //S3 medindo entre 400 e 533 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
elseif(auxVarredura_S3[Canal] >= 534 && auxVarredura_S3[Canal] <= 664) {Faixa_S3 =
2; cont2++;} //S3 medindo entre 534 e 664 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
elseif(auxVarredura_S3[Canal] >= 665 && auxVarredura_S3[Canal] <= 800) {Faixa_S3 =
3; cont3++;} //S3 medindo entre 665 e 800 / Conta quantos sensores estão nesta faixa
delay_ms(5);
}

```

```

cont[1] = cont1; //Armazena quantos sensores estão na Faixa 1 / maior umidade
cont[2] = cont2; //Armazena quantos sensores estão na Faixa 2 / umidade intermediária
cont[3] = cont3; //Armazena quantos sensores estão na Faixa 3 / menor umidade

```

```

//ENCONTRA QUAL FAIXA DE LEITURA PREVALECE ENTRE OS SENSORES (QUAL
FAIXA SE REPETE MAIS)

```

```

//PARA ISSO, ENCONTRAR QUAL POSIÇÃO DO VETOR cont[] É MAIOR

```

```

//A POSIÇÃO QUE FOR MAIOR, REPRESENTA A FAIXA QUE MAIS SE REPETE

```

```

//CONSIDERAR QUE DUAS POSIÇÕES PODEM SER IGUAIS

```

```

cont[0] = 0;

```

```

quantidade[Canal] = cont[0];

```

```

posMaior = 0;

```

```

for (posAtual = 1; posAtual < 4; posAtual++) //onde 4 é a quantidade de faixas de leitura
menos 1 (com excessão da posição 0 do vetor)

```

```

{

```

```

if (cont[posAtual] > quantidade[Canal])

```

```

{

```

```

quantidade[Canal] = cont[posAtual]; //Quantidade de sensores na faixa que prevalece

```

```

posMaior = posAtual;

```

```

}

```

```

}

```

```
if(cont1 == quantidade[Canal]) //Faixa 1 prevalece em relação a menor quantidade de sensores
```

```
{
```

```
if(cont1 == cont3)//Caso faixa 3 igual a faixa 1 (disputa entre faixas)
```

```
Faixa_maior = 3; //Considera faixa de menor umidade
```

```
elseif(cont1 == cont2)//Caso faixa 2 igual a faixa 1 (disputa entre faixas)
```

```
Faixa_maior = 2; //Considera faixa de menor umidade
```

```
elseFaixa_maior = 1; //Não havendo disputa, prevalece a única com mais sensores
```

```
}
```

```
elseif(cont2 == quantidade[Canal]) //Faixa 1 prevalece em relação a menor quantidade de sensores
```

```
{
```

```
if(cont2 == cont3)//Caso faixa 3 igual a faixa 1 (disputa entre faixas)
```

```
Faixa_maior = 3; //Considera faixa de menor umidade
```

```
elseif(cont2 == cont1)//Caso faixa 2 igual a faixa 1 (disputa entre faixas)
```

```
Faixa_maior = 2; //Considera faixa de menor umidade
```

```
elseFaixa_maior = 2; //Não havendo disputa, prevalece a única com mais sensores
```

```
}
```

```
elseif(cont3 == quantidade[Canal]) //Faixa 1 prevalece em relação a menor quantidade de sensores
```

```
{
```

```
if(cont3 == cont1)//Caso faixa 3 igual a faixa 1 (disputa entre faixas)
```

```
Faixa_maior = 3; //Considera faixa de menor umidade
```

```
elseif(cont3 == cont2)//Caso faixa 2 igual a faixa 1 (disputa entre faixas)
```

```
Faixa_maior = 3; //Considera faixa de menor umidade
```

```
elseFaixa_maior = 3; //Não havendo disputa, prevalece a única com mais sensores
```

```
}
```

```
if(nSensores == 1)//Caso apenas 1 sensor instalado
```

```
{
if(Faixa_S0 == Faixa_maior)
{
    S0 = 1; //Se Sensor S0 estiver na faixa maior, inclui na média
    S1 = 0; //Senão, exclui da média
    S2 = 0; //Senão, exclui da média
    S3 = 0; //Senão, exclui da média
}
}

elseif(nSensores == 2)
{

if(Faixa_S0 == Faixa_maior) S0 = 1; //Se Sensor S0 estiver na faixa maior, inclui na média
else          S0 = 0; //Senão, exclui da média

if(Faixa_S1 == Faixa_maior) S1 = 1; //Se Sensor S1 estiver na faixa maior, inclui na média
else          S1 = 0; //Senão, exclui da média

                S2 = 0; //Senão, exclui da média
                S3 = 0; //Senão, exclui da média
}

elseif(nSensores == 3)
{
if(Faixa_S0 == Faixa_maior) S0 = 1; //Se Sensor S0 estiver na faixa maior, inclui na média
else          S0 = 0; //Senão, exclui da média

if(Faixa_S1 == Faixa_maior) S1 = 1; //Se Sensor S1 estiver na faixa maior, inclui na média
else          S1 = 0; //Senão, exclui da média
```

```

if(Faixa_S2 == Faixa_maior) S2 = 1; //Se Sensor S1 estiver na faixa maior, inclui na média
else
    S2 = 0; //Senão, exclui da média

    S3 = 0; //Senão, exclui da média
}

elseif(nSensores == 4)
{
//Sabendo qual faixa é a maior, verifica quais sensores estão nesta faixa que prevaleceu
if(Faixa_S0 == Faixa_maior) S0 = 1; //Se Sensor S0 estiver na faixa maior, inclui na média
else
    S0 = 0; //Senão, exclui da média

if(Faixa_S1 == Faixa_maior) S1 = 1; //Se Sensor S1 estiver na faixa maior, inclui na média
else
    S1 = 0; //Senão, exclui da média

if(Faixa_S2 == Faixa_maior) S2 = 1; //Se Sensor S2 estiver na faixa maior, inclui na média
else
    S2 = 0; //Senão, exclui da média

if(Faixa_S3 == Faixa_maior) S3 = 1; //Se Sensor S3 estiver na faixa maior, inclui na média
else
    S3 = 0; //Senão, exclui da média
}

//Realiza a soma dos sensores
if(S0 == 1) {soma = (soma + auxVarredura_S0[Canal]);} else {soma = (soma + 0);} //S0
operando na faixa de maior ocorrência
if(S1 == 1) {soma = (soma + auxVarredura_S1[Canal]);} else {soma = (soma + 0);}
if(S2 == 1) {soma = (soma + auxVarredura_S2[Canal]);} else {soma = (soma + 0);}
if(S3 == 1) {soma = (soma + auxVarredura_S3[Canal]);} else {soma = (soma + 0);}

switch(Canal)
{

```

```

    case 0x01: mediaGn[1] = (soma/quantidade[Canal]); break; //Armazena média na variável
correspondente ao Canal lido
    case 0x02: mediaGn[2] = (soma/quantidade[Canal]); break;
    case 0x03: mediaGn[3] = (soma/quantidade[Canal]); break;
    default: break;
}
soma      = 0;
cont1     = 0;
cont2     = 0;
cont3     = 0;
} //fecha for

```

```

/*VARREDURA SENSOR ULTRASSONICO - PROTEÇÃO DA BOMBA*/

```

```

ha = (hr - ds); //Altura de água do reservatório em milímetros função da altura total e da
distância medida pelo sensor

```

```

VmL = (ha*br*pr); //Variável long para armazenar volume em milímetros cúbicos

```

```

iVmL = VmL; //Armazena valor atual do volume em variável do tipo inteira

```

```

tVmL = (hr*br*pr); //Calcula volume total do reservatório em milímetros cúbicos

```

```

x1 = (100*iVmL);

```

```

x2 = tVmL;

```

```

Vpct = (x1/x2);

```

```

} //end Varredura

```

```

voidLeituraGn()

```

```

{

```

```

unsigned char cen, dez, uni;

```



```
char analog_STR[4];
```

```
leituraSoloAtual = mediaGn[nGrupo]; //Atribui valor da leitura analógica para a
variavelSoloAtual
```

```
if(leituraSoloAtual>soloSeco[nGrupo])
```

```
leituraSoloPercentual = 0;
```

```
elseif(leituraSoloAtual<soloUmido[nGrupo])
```

```
leituraSoloPercentual = 100;
```

```
elseif (leituraSoloAtual<= soloSeco[nGrupo] &&leituraSoloAtual>= soloUmido[nGrupo])
```

```
leituraSoloPercentual = (((leituraSoloAtual - soloSeco[nGrupo]) / (soloUmido[nGrupo] -
soloSeco[nGrupo])) * 100.0); //Conversão de leitura de umidade para percentual através
```

```
//de interpolação
```

```
das variáveis de calibração dos sensores
```

```
uni = leituraSoloPercentual % 10;
```

```
dez = (leituraSoloPercentual % 100)/10;
```

```
cen = (leituraSoloPercentual % 1000)/100;
```

```
if(leituraSoloPercentual == 100) Lcd_Chr(2,8, (cen+48));
```

```
elseLcd_Chr(2,8, ' ');
```

```
if(leituraSoloPercentual>= 10) Lcd_Chr(2,9, (dez+48));
```

```
elseLcd_Chr(2,9, ' ');
```

```
Lcd_Chr(2,10,(uni+48));
```

```
Lcd_Chr(2,11,'%');
```

```
IntToStr(auxVarredura_S0[1], analog_STR);
```

```
FloatToStr_FixLen(auxVarredura_S0[1], analog_STR, 4);
```

```
//Ltrim(analog_STR);
```

```

//Rtrim(analog_STR);
//Lcd_Out(2,2,analog_STR);

delay_ms(450);
} //endLeituraGn

voidControleGn()
{
byteBomba = 0;
for(Canal = 7; Canal >= 1; Canal--)
{
controleSoloAtual[Canal] = mediaGn[Canal];

if(controleSoloAtual[Canal] > soloSeco[Canal])
controleSoloPercentual[Canal] = 0;

elseif(controleSoloAtual[Canal] < soloUmido[Canal])
controleSoloPercentual[Canal] = 100;

elseif (controleSoloAtual[Canal] <= soloSeco[Canal] && controleSoloAtual[Canal] >=
soloUmido[Canal])
controleSoloPercentual[Canal] = (((controleSoloAtual[Canal] - soloSeco[Canal]) /
(soloUmido[Canal] - soloSeco[Canal])) * 100.0); //Conversão de leitura de umidade para
percentual através

//de interpolação
das variáveis de calibração dos sensores
if (Vpct >= (AtualSP_V + AtualH_V))
{
flagProtecao = 0x01;
auxProtecao = 0x01;
}

elseif (Vpct >= AtualSP_V && Vpct < (AtualSP_V + AtualH_V))
{

```

```

flagProtecao = 0x02;

    }

elseif(Vpct<AtualSP_V)
    {
flagProtecao = 0x03;
auxProtecao = 0x02;
    }

if(Canal <= nGrupoMax)
    {

if((controleSoloPercentual[Canal] <= AtualSP_U[Canal] &&flagProtecao == 0x01) ||
(controleSoloPercentual[Canal] <= AtualSP_U[Canal] &&flagProtecao == 0x02
&&auxProtecao == 0x01))//Compara se umidade atual do grupo é menor ou igual ao valor
ajustado (set point)
    {

flagBomba[Canal] = 1; //Para ligar a bomba, basta que qualquer sensor atinja o Set Point
flagBomba = 01111111b = 0x07

saida[Canal]   = 1;   //Aciona válvula para irrigação do grupo correspondente

    }

elseif((controleSoloPercentual[Canal] >= (AtualSP_U[Canal] + atualH_U[Canal]) ||
flagProtecao == 0x03))
    {

flagBomba[Canal] = 0; //Para desligar a bomba, é necessário que haja flagBomba =
00000000b = 0x00 (Nenhum grupo atingiu o Set Point)

saida[Canal]   = 0;

    }

}

elseif(Canal >nGrupoMax)

```

```
{
flagBomba[Canal] = 0;
saida[Canal] = 0;
}

DATA =saida[Canal]; //carrega Q7 até Q1
delay_us(1);
    CLOCK = 1;
delay_us(1);
    CLOCK = 0;
delay_us(1);

byteBomba = (byteBomba + flagBomba[Canal]); //Inicialmente zero - Caso diferente de zero,
ligar a bomba
} //end for

if(byteBomba == 0x00) //Compara se umidade atual do grupo é menor ou igual ao valor
ajustado (set point)
{
saida[0] = 0;
}
else
{
saida[0] = 1;
}

if(Vpct < AtualSP_V)
{
//PREVISTO LED VERMELHO DE SINALIZAÇÃO DE PROTEÇÃO DE BOMBA ATUADA
}
```

```

DATA =saida[0]; //carrega
delay_us(1);
  CLOCK = 1;
delay_us(1);
  CLOCK = 0;
delay_us(1);

} //endControleGn

voidDistancia()
{
  Gatilho();          //Dispara o sensor ultrassonico
  delay_ms(100);      //Aguarda 100ms
  periodo = (TempoH<<8) + TempoL; //Periodo do Echo do sensor ultrassonico em us
  ds = periodo/58;    //Distancia do obstáculo em cm
}

voidGatilho() //Gera pulso de 10us para sensor ultrassonico
{
  Trigger = 0x01;
  delay_us(10);
  Trigger = 0x00;
}

//Configuração de Funções
voidLerBotoes() //Função para leitura dos botões de navegação do display
{

if(Esq == 0) flagEsq = 0x01; //Ativa flagEsq, se botão de navegar para esquerda for
pressionado
if(Dir == 0) flagDir = 0x01; //Ativa flagDir, se botão de navegar para direita for pressionado
if(Enter == 0) flagEnter = 0x01; //Ativa flagEnter, se botão Enter for pressionado
if(Back == 0) flagBack = 0x01; //Ativa flagBack, se botão Back for pressionado

```

```

if(Esq&&flagEsq) //Se o botão de navegar para esquerda for solto, e a flagEsq estiver
ativada, então...

{

flagEsq = 0x00; //Desativa a flagEsq

if(auxD == 0x01) menu--; //Caso o display esteja exibindo a camada Menu, então
decrementa a variável menu

elseif(auxD == 0x02 &&flagMenu != 0x03) Smenu--; //Senão, caso o display esteja exibindo
a camada Submenu da função Umidade, então decrementa a variável submenu

elseif(auxD == 0x03 &&flagFuncao == 0x00 &&flagMenu != 0x02) SMenu--; //Decrementa a
variável SMenu, desde que não esteja na tela de leitura da umidade

if(menu == 0x00 &&auxD == 0x01) menu = nMenu; //Se estiver na tela 1 do menu e botão
for pressionado, salta para ultima tela do menu.

elseif(Smenu == 0x00 &&auxD == 0x02 &&flagMenu != 0x01) Smenu = nSMenu;

elseif(Smenu == 0x00 &&auxD == 0x02 &&flagMenu == 0x01) Smenu = 0x04;

if(SMenu == 0x01)

if(auxD == 0x03) nGrupo--; //Flag de grupo selecionado

if(SMenu == 0x01 &&nGrupo == 0)

nGrupo = nGrupoMax; //Flag de grupo selecionado

if(TOCON.TMR0ON == 1) //Caso Timer0 esteja ligado e função Set Point

{

if(flagMenu == 0x01) //Caso esteja na tela de ajuste de umidade

{

if(flagFuncao == 0x03 &&novoSP_U >= 5) novoSP_U = novoSP_U-5; //Tela de SetPoint e
ajuste maior ou igual a 5%, faz decremento de 5%

elseif(flagFuncao == 0x04 &&novoH_U > 5) novoH_U = novoH_U-1; //Tela de Histerese e
ajuste maior que 5, faz decremento de 1%

elseif(flagFuncao == 0x05 &&novoSensores > 1) novoSensores = novoSensores-1;

}

}

```

```

elseif(flagMenu == 0x02) //Caso esteja na tela de ajuste de volume
    {
if(flagFuncao == 0x03 &&novoSP_V> 25) novoSP_V = novoSP_V-5;
elseif (flagFuncao == 0x04 &&novoH_V> 5) novoH_V = novoH_V-5;
    }
}

limpaLCD = 0x01; //Ativa flag de controle da limpeza do LCD
} //Endif de teste do botão Esquerda

if(Dir &&flagDir) //Se o botão de navegar para direita for solto, e a flagDir estiver ativada,
então...
{
flagDir = 0x00; //Desativa a flagDir

if(auxD == 0x01) menu++; //Caso o display esteja exibindo a camada Menu, então
incrementa a variável menu

elseif(auxD == 0x02 &&flagMenu != 0x03) Smenu++; //Senão, caso o display esteja exibindo
a camada Submenu, então incrementa a variável submenu

elseif(auxD == 0x03 &&flagFuncao == 0x00 &&flagMenu != 0x02) SSmenu++; //Incrementa a
variável SSMenu, desde que não esteja na tela de leitura da umidade

if(menu >nMenu&&auxD == 0x01) menu = 0x01; //Se estiver na última tela do menu e botão
for pressionado, salta para primeira tela do menu.

elseif(Smenu>nSMenu&&auxD == 0x02 &&flagMenu != 0x01) Smenu = 0x01;
elseif(Smenu> 4 &&auxD == 0x02 &&flagMenu == 0x01) Smenu = 0x01;

if(SSMenu == 0x01)
if(auxD == 0x03) nGrupo++; //Flag de grupo selecionado

if(nGrupo>nGrupoMax)
nGrupo = 0x01; //Flag de grupo selecionado

```

```

if(T0CON.TMR0ON == 1) //Caso Timer0 esteja ligado
    {

if(flagMenu == 0x01) //Caso esteja na tela de ajuste de umidade
    {
if(flagFuncao == 0x03 && novoSP_U <= 95) novoSP_U = novoSP_U+5; //
elseif(flagFuncao == 0x04 && novoH_U < 100) novoH_U = novoH_U+1; //
elseif(flagFuncao == 0x05 && novoSensores < 4) novoSensores = novoSensores+1;
    }

if(flagMenu == 0x02) //Caso esteja na tela de ajuste de volume
    {
if(flagFuncao == 0x03 && novoSP_V <= 75) novoSP_V = novoSP_V+5;
elseif(flagFuncao == 0x04 && novoH_V <= 70) novoH_V = novoH_V+5;
    }
    }

limpaLCD = 0x01; //Ativa flag de controle da limpeza do LCD
} //Endif de teste do botão Direita

if(Enter && flagEnter) //Se o botão de Enter for solto, e a flagEnter estiver ativada, então...
{
flagEnter = 0x00; //Desativa flag de botão Enter pressionado

if(auxD == 0x01) //Caso o display esteja exibindo a camada Menu
Smenu = 1; //Atribui a variável Smenu, o valor 1 para indicar primeira tela do Smenu

if(auxD == 0x02 && flagMenu != 0x03) //Caso o display esteja exibindo a camada Smenu
SSmenu = 1; //Atribui a variável SSmenu, o valor 1 para indicar primeira tela do SSmenu

if(auxD == 0x03 && flagMenu != 0x02) //Caso o display esteja exibindo a camada SSmenu de
Umidade
SSSmenu = 1; //Atribui a variável SSSmenu, o valor 1 para indicar primeira tela do SSmenu

```



```
if(auxD == 0x04) //Caso o display esteja exibindo a camada SSSmenu
```

```
SSSSmenu = 1; //Atribui a variável SSSmenu, o valor 1 para indicar primeira tela do SSmenu
```

```
if(flagMenu == 0x01 &&auxD == 0x04 &&aux == 0x00)//Se estiver na tela de ajuste de Umidade, e esteja na camada SSSmenu e ajuste (SP ou HIST) não esteja liberado
```

```
    T0CON.TMR0ON = 1; //Inicia Timer0 para piscar display e libera ajuste de SP e Hist
```

```
elseif(flagMenu == 0x01 &&auxD == 0x03 &&aux == 0x00 &&flagFuncao == 0x05)
```

```
    T0CON.TMR0ON = 1; //Inicia Timer0 para piscar display e libera ajuste de quantidade de sensores
```

```
elseif(flagMenu == 0x02 &&auxD == 0x03 &&aux == 0x00)//Se estiver na tela de ajuste de Volume, e esteja na camada SSSmenu e ajuste do SP não esteja liberado
```

```
    T0CON.TMR0ON = 1; //Inicia Timer0 para piscar display e libera ajuste do SP
```

```
if(auxD == 0x02 &&flagMenu == 0x03) //Caso o display esteja exibindo a camada SSmenu da função de Reset
```

```
    {
```

```
    for(pos = 0; pos<= 12; pos++)//Configuração de armazenamento de ajustes na EEPROM
```

```
        {
```

```
        if(pos>=0 &&pos<4) //SET POINT UMIDADE
```

```
        atualSP_U[pos] = 0X00; //Define SetPoint padrão inicial de umidade
```

```
        elseif(pos>=4 &&pos<8) //HISTERESE UMIDADE
```

```
        atualH_U[pos-3] = 0X05; //Define histerese padrão inicial de umidade
```

```
        elseif(pos == 8)//SET POINT VOLUME
```

```
        atualSP_V = 0x19;
```

```

elseif(pos == 9)//HISTERESE VOLUME
atualH_V = 0x05;

elseif(pos == 10) //QUANTIDADE DE SENSORES DE UMIDADE
nSensores = 0X01; //Define quatidade padrão de sensores de umidade
    }

for(pos = 0; pos<= 12; pos++)
EEPROM_Write(pos,0xFF); //Permite manter o reset após reiniciar o PIC

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Out(2,2,"-----"); //Indica que o reset foi executado
delay_ms(400);

    }

if(aux == 0x01 &&piscaSP == 0x00) //Caso esteja com ajuste liberado e digitos mostrando
    {
        T0CON.TMR0ON = 0;    //Desliga Timer0, interrompendo pisca

if(auxD == 0x04 &&flagMenu == 0x01) //Caso esteja na tela de ajuste de umidade
    {
if(flagFuncao == 0x03)//Caso função de set point
    {
atualSP_U[nGrupo] = novoSP_U; //Realiza ajuste do SP
EEPROM_Write(nGrupo, atualSP_U[nGrupo]);
delay_ms(20);
novoSP_U = 0x00;
    }

elseif(flagFuncao == 0x04)//Caso função de histerese
    {

```

```

atualH_U[nGrupo] = novoH_U; //Realiza ajuste de Histerese
EEPROM_Write(nGrupo+3, atualH_U[nGrupo]);
delay_ms(20);
novoH_U = 0x05;
    }

aux = 0x00; //Reseta auxiliar
    }

elseif(auxD == 0x03 &&flagMenu == 0x01 &&flagFuncao == 0x05)
    {
nSensores = novoSensores; //Realiza ajuste de quantidade de sensores
EEPROM_Write(10, nSensores);
delay_ms(20);
novoSensores = 0x01;
    }

elseif(auxD == 0x03 &&flagMenu == 0x02) //Caso esteja na tela de ajuste de volume
    {
if(flagFuncao == 0x03)//Caso função de set point
    {
atualSP_V = novoSP_V; //Realiza ajuste do SP
EEPROM_Write(8, atualSP_V);
delay_ms(20);
novoSP_V = 0x19; //Valor mínimo disponível para ajuste de set point de volume
    }
elseif(flagFuncao == 0x04)//Caso função de histerese
    {
atualH_V = novoH_V; //Realiza ajuste do SP
EEPROM_Write(9, atualH_V);
delay_ms(20);

```

```

novoH_V = 0x05; //Valor mínimo para ajuste de histerese de volume
    }
aux = 0x00; //Reseta auxiliar
    }

}

if(aux == 0x01 &&piscaSP == 0x01) //Caso esteja com ajuste liberado e digitos ocultos
    {

        T0CON.TMR0ON = 0; //Desliga Timer0, interrompendo pisca

if(auxD == 0x04 &&flagMenu == 0x01) //Caso esteja na tela de ajuste de umidade
    {
if(flagFuncao == 0x03)//Caso função de set point
    {
atualSP_U[nGrupo] = novoSP_U; //Realiza ajuste do SP
EEPROM_Write(nGrupo, atualSP_U[nGrupo]);
delay_ms(20);
novoSP_U = 0x00;
    }

elseif(flagFuncao == 0x04) //Caso função de histerese
    {
atualH_U[nGrupo] = novoH_U; //Realiza ajuste de Histerese
EEPROM_Write(nGrupo+3, atualH_U[nGrupo]);
delay_ms(20);
novoH_U = 0x05;
    }

elseif(auxD == 0x03 &&flagMenu == 0x01 &&flagFuncao == 0x05)

```

```

        {
nSensores = novoSensores; //Realiza ajuste de quantidade de sensores
EEPROM_Write(10, nSensores);
delay_ms(20);
novoSensores = 0x01;
        }
    }
elseif(auxD == 0x03 &&flagMenu == 0x01 &&flagFuncao == 0x05)
    {
nSensores = novoSensores; //Realiza ajuste de Histerese
EEPROM_Write(nGrupo+9, nSensores);
delay_ms(20);
novoSensores = 0x01;
    }

elseif(auxD == 0x03 &&flagMenu == 0x02) //Caso esteja na tela de ajuste de volume
    {
if(flagFuncao == 0x03)//Caso função de set point
    {
atualSP_V = novoSP_V; //Realiza ajuste do SP
EEPROM_Write(8, atualSP_V);
delay_ms(20);
novoSP_V = 0x19;
    }
elseif(flagFuncao == 0x04)//Caso função de histerese
    {
atualH_V = novoH_V; //Realiza ajuste do SP
EEPROM_Write(9, atualH_V);
delay_ms(20);
novoH_V = 0x05;
    }

```

```

    }

    piscaSP = 0x00;      //Reseta flag de pisca, forçando dígitos a aparecerem novamente
    (ajuste bloqueado)

    aux = 0x00;         //Reseta auxiliar
    }

    limpaLCD = 0x01;    //Ativa flag de controle da limpeza do LCD
} //Endif de teste do botão Enter

if(Back &&flagBack) //Se o botão Back for solto, e a flagBack estiver ativada, então...
{
    flagBack = 0x00;   //Desativa flag de botão Back pressionado

    if(auxD == 0x02) //Caso o display esteja exibindo a camada SMenu
        Smenu = 0x00; //Desativa o SMenu, forçando retorno ao menu

    if(auxD == 0x03) //Caso o display esteja exibindo a camada SSMenu
        SSmenu = 0x00; //Desativa o SSMenu, forçando retorno ao SMenu

    if(auxD == 0x04) //Caso o display esteja exibindo a camada SSSMenu
        {
            SSSmenu = 0x00; //Desativa o SSSMenu, forçando retorno ao SSMenu
            SSSSmenu = 0x00;
        }

    if(auxD == 0x03 &&flagFuncao == 0x01 &&flagMenu == 0x01) //Caso esteja em SSMenu,
    função leitura de umidade
        nGrupo = 0x01; //Número do grupo volta para 1

    if(auxD == 0x03 &&flagFuncao == 0x03 &&flagMenu == 0x01) //Caso esteja em SSMenu,
    função setpoint de umidade
        nGrupo = 0x01; //Número do grupo volta para 1

```

```
if(auxD == 0x04 &&aux == 0x01 &&piscaSP == 0x00) //Caso pressione back antes de
confirmar ajuste do SP
```

```
{
```

```
    T0CON.TMR0ON = 0; //Desliga Timer0, interrompendo pisca
```

```
    novoSP_U = 0x00; //Reseta alterações feitas no SP
```

```
    aux = 0x00; //Reseta auxiliar
```

```
}
```

```
if(auxD == 0x04 &&aux == 0x01 &&piscaSP == 0x01) //Caso pressione back antes de
confirmar ajuste do SP
```

```
{
```

```
    T0CON.TMR0ON = 0; //Desliga Timer0, interrompendo pisca
```

```
    novoSP_U = 0x00; //Reseta alterações feitas no SP
```

```
    piscaSP = 0x00; //Reseta flag de pisca, forçando dígitos a aparecerem novamente (ajuste
bloqueado)
```

```
    aux = 0x00; //Reseta auxiliar
```

```
}
```

```
if(auxD == 0x04)
```

```
{
```

```
    novoSP_U = 0x00;
```

```
}
```

```
if(auxD == 0x05) //Caso o display esteja exibindo a camada SSSSMenu
```

```
{
```

```
    SSSSmenu = 0x00; //Desativa o SSSSMenu, forçando retorno ao SSSMenu
```

```
    //nivelTanque = 0;
```

```
}
```

```
limpaLCD = 0x01; //Ativa flag de controle da limpeza do LCD
```

```
}//Endif de teste do botão Back
```

```
}//EndLerBotoes
```

```
voidMenuUmidade()
{
  LimpezaLCD();
  auxD = 0x01; //menu principal

  switch(Smenu)
  {
    case 0x01: SMenuLeitura(); break;
    case 0x02: SMenuSetPoint(); break;
    case 0x03: SMenuHisterese(); break;
    case 0x04: SmenuSensores(); break;
    default:
    {
      //1234567812345678
      Lcd_Out(1,1,"ESCOLHA A FUNCAO");
      Lcd_Out(2,5,"1.UMIDADE");

      Lcd_Chr(2,16,'>');
    }
    break;
  }
} //EndMenuUmidade
```

```
voidMenuVolume()
{
  LimpezaLCD();
  auxD = 0x01; //menu

  switch(Smenu)
  {
```



```
case 0x01: SMenuLeituraVol(); break;
case 0x02: SMenuSPVol(); break;
case 0x03: SMenuHistVol(); break;
default:
{
Lcd_Out(1,1,"ESCOLHA A FUNCAO");
Lcd_Out(2,5,"2.VOLUME");

Lcd_Chr(2,1,'<');
Lcd_Chr(2,16,'>');
}
break;
}
} //EndMenuVolume
```

```
voidMenuReset()
{
LimpezaLCD();
auxD = 0x01; //menu

switch(Smenu)
{
case 0x01: SMenuReset(); break;
default:
{
Lcd_Out(1,1,"ESCOLHA A FUNCAO");
Lcd_Out(2,5,"3.RESET");

Lcd_Chr(2,1,'<');

} //Fecha Default
```

```

    break;
} //Fecha Switch
} //Fecha MenuReset()

void SMenuReset()
{
    LimpezaLCD();
    flagMenu = 0x03; //Opção Reset de Fábrica
    auxD = 0x02; //Smenu

    switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
    {
        //case 0x01: SMenuLerUmidGn(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
        default:
        {
            Lcd_Out(1,3,"APERTE ENTER");
            Lcd_Out(2,3,"PARA RESETAR");
        }
        break;
    }
}

void SMenuLeitura()
{
    LimpezaLCD();
    flagMenu = 0x01; //Opção Umidade
    auxD = 0x02; //Smenu

    switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
    {
        case 0x01: SMenuLerUmidGn(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
        default:

```

```
{  
Lcd_Out(1,5,"UMIDADE");  
Lcd_Out(2,6,"ATUAL");  
  
Lcd_Chr(2,16,'>');  
}  
break;  
}  
}
```

```
voidSMenuSetPoint()
```

```
{  
LimpezaLCD();  
flagMenu = 0x01; //Opção Umidade  
auxD = 0x02; //Smenu  
  
switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu  
{  
case 0x01: SMenuSPUmidGn(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade  
default:  
{  
Lcd_Out(1,3,"SET POINT DE");  
Lcd_Out(2,6,"UMIDADE");  
  
Lcd_Chr(2,1,'<');  
Lcd_Chr(2,16,'>');  
}  
break;  
}  
}
```

```
voidSMenuHisterese()
{
  LimpezaLCD();
  flagMenu = 0x01; //Opção Umidade
  auxD = 0x02; //Smenu

  switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
  {
    case 0x01: SMenuHistUmidGn(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
    default:
      {
        Lcd_Out(1,3,"HISTERESE DE");
        Lcd_Out(2,6,"UMIDADE");

        Lcd_Chr(2,1,'<');
        Lcd_Chr(2,16,'>');
      }
    break;
  }
}
```

```
voidSMenuSensores()
{
  LimpezaLCD();
  flagMenu = 0x01; //Opção Umidade
  auxD = 0x02; //Smenu

  switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
```

```
{
    case 0x01: SSMenuSensores(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
    default:
    {
        Lcd_Out(1,2,"QUANTIDADE DE");
        Lcd_Out(2,6,"SENSORES");

        Lcd_Chr(2,1,'<');
    }
    break;
}
}
```

```
voidSMenuLeituraVol()
{
    LimpezaLCD();
    flagMenu = 0x02; //Opção Volume
    auxD = 0x02; //Smenu

    switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
    {

        case 0x01: SSMenuLerVolume(); break;
        default:
```

```
{
Lcd_Out(1,6,"VOLUME");
Lcd_Out(2,6,"ATUAL");

Lcd_Chr(2,16,'>');
}
break;
}
}

voidSMenuSPVol()
{
LimpezaLCD();
flagMenu = 0x02; //Opção Volume
auxD = 0x02; //Smenu

switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
{
case 0x01: SMenuSPVolume(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
default:
{
Lcd_Out(1,3,"SET POINT DE");
Lcd_Out(2,7,"VOLUME");

Lcd_Chr(2,1,'<');
Lcd_Chr(2,16,'>');
}
break;
}
}
```

```
voidSMenuHistVol()
{
  LimpezaLCD();
  flagMenu = 0x02; //Opção Volume
  auxD = 0x02; //Smenu

  switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
  {
    case 0x01: SSMenuHistVolume(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
    default:
      {
        Lcd_Out(1,3,"HISTERESE DE");
        Lcd_Out(2,6,"VOLUME");

        Lcd_Chr(2,1,'<');
      }
    break;
  }
}

voidSSMenuLerUmidGn()
{
  LimpezaLCD();
  flagMenu = 0x01; //Opção Umidade
  auxD = 0x03; //SSmenu
  SSSmenu = 0; //Devido a mudança de valor dessa variável ao pressionar enter, ela é zerada
  pois não tem função para este SSmenu
  flagFuncao = 0x01; //Leitura

  Lcd_Out(1,1,"UMIDADE GRUPO");

  ByteToStr(nGrupo,nGrupoSTR);
```

```

Ltrim(nGrupoSTR);
Lcd_Out(1,15,nGrupoSTR);

if (nGrupo == 1)          Lcd_Chr(2,16,'>');
elseif (nGrupo>1 && nGrupo<nGrupoMax){ Lcd_Chr(2,1,'<'); Lcd_Chr(2,16,'>'); }
elseif (nGrupo == nGrupoMax) Lcd_Chr(2,1,'<');

LeituraGn();
}

voidSSMenuSPUmidGn()
{
LimpezaLCD();
flagMenu = 0x01; //Opção Umidade
auxD = 0x03; //SSmenu
flagFuncao = 0x03; //Set Point
flagNaveg = 0x01;
flagMenu = 0x01;

switch(SSSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
{
case 0x01: SSSMenuSP(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
default:
{
Lcd_Out(1,3,"SET POINT DE");
Lcd_Out(2,6,"GRUPO");

ByteToStr(nGrupo,nGrupoSTR);
Ltrim(nGrupoSTR);

```



```
Lcd_Out(2,12,nGrupoSTR);
```

```

if (nGrupo == 1)          Lcd_Chr(2,16,'>');
elseif (nGrupo>1 && nGrupo<nGrupoMax){ Lcd_Chr(2,1,'<'); Lcd_Chr(2,16,'>'); }
elseif (nGrupo == nGrupoMax) Lcd_Chr(2,1,'<');
}
break;
}
}

```

```
voidSSMenuHistUmidGn()
```

```

{
LimpezaLCD();
flagMenu = 0x01; //Opção Umidade
auxD = 0x03; //SSmenu
flagFuncao = 0x04; //Histerese

```

```
switch(SSSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
```

```

{
case 0x01: SSSMenuHist(); break; //Caso 1, exibe menu dos sensores de umidade
default:
{
Lcd_Out(1,3,"HISTERESE DE");
Lcd_Out(2,6,"GRUPO");

```

```
ByteToStr(nGrupo,nGrupoSTR);
```

```
Ltrim(nGrupoSTR);
```

```
Lcd_Out(2,12,nGrupoSTR);
```

```
if (nGrupo == 1)          Lcd_Chr(2,16,'>');
elseif (nGrupo>1 && nGrupo<nGrupoMax){ Lcd_Chr(2,1,'<'); Lcd_Chr(2,16,'>'); }
elseif (nGrupo == nGrupoMax) Lcd_Chr(2,1,'<');
}
break;
}
}
```

```
voidSSMenuSensores()
{
LimpezaLCD();
flagMenu = 0x01; //Opção Umidade
auxD = 0x03; //SSmenu
flagFuncao = 0x05; //Quantidade Sensores
```

```
Lcd_Out(1,1,"QTD: Atual Novo");
```

```
ByteToStr(nSensores,nSensores_STR);
```

```
Lcd_Out(2,5,nSensores_STR);
```

```
Lcd_Chr_Cp (' ');
```

```
Lcd_Chr_Cp (' ');
```

```
if(piscaSP == 0)
```

```
{
```

```
ByteToStr(novoSensores,novoSensores_STR);
```

```
Lcd_Out(2,11,novoSensores_STR);
```

```

    }

elseif(piscaSP == 1)
    {
    Lcd_Chr(2,11,' ');
    Lcd_Chr_Cp(' ');
    Lcd_Chr_Cp(' ');
    }

}

voidSSMenuLerVolume() //Submenu para leitura de volume do tanque em mililitros
{
LimpezaLCD();
flagMenu = 0x02; //Opção Volume
auxD = 0x03; //SSmenu
flagFuncao = 0x01; //Leitura

//SSSmenu = 0; //Devido a mudança de valor dessa variável ao pressionar enter, ela é
zerada pois não tem função para este SSmenu

switch(SSmenu) //Verifica variável de número da tela atual do submenu
{
    default:
    {
    Lcd_Out(1,1,"VOL. TANQUE (%)");

if(ds>= 3 &&ds<= hr) //Verifica se distância lida pelo sensor está dentro dos seus limites de
operação mínimo (2cm) e máximo (altura do reservatório)
    {

```

```

/*
IntToStr(iVml,iVml_STR); //Converte valor inteiro de volume em mL para string (mostrar no
LCD)
Ltrim(iVml_STR); //Deleta espaços em branco à esquerda da string
Rtrim(iVml_STR); //Deleta espaços em branco à direita da string
Lcd_Out(2,1,"          "); //Limpa linha 2 do LCD
*/

```

```

IntToStr(Vpct, Vpct_STR);
Ltrim(Vpct_STR); //Deleta espaços em branco à esquerda da string
Rtrim(Vpct_STR); //Deleta espaços em branco à direita da string
Lcd_Out(2,1,"          "); //Limpa linha 2 do LCD

```

```

//Lcd_Out(2,7,Vpct_STR);
if(Vpct>= 0 &&iVml<= 9) //Verifica quantos dígitos tem o valor lido
{
Lcd_Out(2,10,Vpct_STR); //Mostra valor do volume atual em mL no LCD
Lcd_Chr(2,9, ' '); //Limpa posições dos dígitos não utilizados
Lcd_Chr(2,8, ' ');
Lcd_Chr(2,7, ' ');
Lcd_Out(2,12,"%");
}

```

```

elseif(Vpct> 9 &&Vpct<= 99) //Verifica quantos dígitos tem o valor lido
{
Lcd_Out(2,9,Vpct_STR); //Mostra valor do volume atual em mL no LCD
Lcd_Chr(2,8, ' '); //Limpa posições dos dígitos não utilizados
Lcd_Chr(2,7, ' ');
Lcd_Out(2,12,"%");
}

```

```

elseif(Vpct> 99) //Verifica quantos dígitos tem o valor lido

```

```
{  
Lcd_Out(2,8,Vpct_STR); //Mostra valor do volume atual em mL no LCD  
Lcd_Chr(2,7, ' '); //Limpa posições dos dígitos não utilizados  
Lcd_Out(2,12,"%");  
}  
  
/*  
if(iVml>= 0 &&iVml<= 9) //Verifica quantos dígitos tem o valor lido  
{  
Lcd_Out(2,10,iVml_STR); //Mostra valor do volume atual em mL no LCD  
Lcd_Chr(2,9, ' '); //Limpa posições dos dígitos não utilizados  
Lcd_Chr(2,8, ' ');  
Lcd_Chr(2,7, ' ');  
Lcd_Out(2,12,"mL");  
}  
  
elseif(iVml> 9 &&iVml<= 99)  
{  
Lcd_Out(2,9,iVml_STR); //Mostra valor do volume atual em mL no LCD  
Lcd_Chr(2,8, ' ');  
Lcd_Chr(2,7, ' ');  
Lcd_Out(2,12,"mL");  
}  
  
elseif(iVml> 99 &&iVml<= 999)  
{  
Lcd_Out(2,8,iVml_STR); //Mostra valor do volume atual em mL no LCD  
Lcd_Chr(2,7, ' ');  
Lcd_Out(2,12,"mL");  
}  
  
elseif(iVml> 999 &&iVml<= 9999)
```

```

    {
Lcd_Out(2,7,iVmL_STR); //Mostra valor do volume atual em mL no LCD
Lcd_Out(2,12,"mL");
    }
    */

delay_ms(500);
}

elseif(ds< 3)
    {
Lcd_Out(2,1,"          "); //Limpa linha 2 do LCD
Lcd_Out(2,1,"Fora do Range");
delay_ms(100);
    }
elseif(ds>hr)
    {
Vpct = 0;
IntToStr(Vpct, Vpct_STR);
Ltrim(Vpct_STR); //Deleta espaços em branco à esquerda da string
Rtrim(Vpct_STR); //Deleta espaços em branco à direita da string

Lcd_Out(2,10,Vpct_STR); //Mostra valor do volume atual em mL no LCD
Lcd_Chr(2,9, ' '); //Limpa posições dos dígitos não utilizados
Lcd_Chr(2,8, ' ');
Lcd_Chr(2,7, ' ');
Lcd_Out(2,12,"%");
    }

    /*
IntToStr(ds,ds_STR);

```

```
if(ds>= 2 &&ds<= 9)
{
Lcd_Chr(2,8, ' ');
Lcd_Chr(2,9, ' ');
Ltrim(ds_STR);
Lcd_Out(2,10,ds_STR);

}
```

```
if(ds> 9 &&ds<= 99)
{
Lcd_Chr(2,8, ' ');
Ltrim(ds_STR);
Lcd_Out(2,9,ds_STR);
}
```

```
if(ds> 99)
{
Ltrim(ds_STR);
Lcd_Out(2,8,ds_STR);
}
```

```
*/
}
break;
}
}
```

```
voidSSMenuSPVolume()
{
LimpezaLCD();
```

```
flagMenu = 0x02; //Tela de ajuste de Volume
```

```
auxD = 0x03; //SSmenu
```

```
flagFuncao = 0x03; //Set Point
```

```
Lcd_Out(1,1,"SP: Atual Novo");
```

```
ByteToStr(atualSP_V,atualSP_V_STR);
```

```
Lcd_Out(2,5,atualSP_V_STR);
```

```
Lcd_Chr(2,8,'%');
```

```
Lcd_Chr_Cp(' ');
```

```
Lcd_Chr_Cp(' ');
```

```
if(piscaSP == 0)
```

```
{
```

```
ByteToStr(novoSP_V,novoSP_V_STR);
```

```
Lcd_Out(2,11,novoSP_V_STR);
```

```
Lcd_Chr(2,14,'%');
```

```
}
```

```
elseif(piscaSP == 1)
```

```
{
```

```
Lcd_Chr(2,11,' ');
```

```
Lcd_Chr_Cp(' ');
```

```
Lcd_Chr_Cp(' ');
```

```
Lcd_Chr(2,14,'%');
```

```
}
```

```
}
```

```
voidSSMenuHistVolume()
```

```
{
```

```
LimpezaLCD();
```

```
flagMenu = 0x02; //Tela de ajuste de Volume
```



```
auxD = 0x03; //SSmenu
flagFuncao = 0x04; //Histerese

Lcd_Out(1,3,"HISTERESE(%");

ByteToStr(atualH_V,atualH_V_STR);
Lcd_Out(2,5,atualH_V_STR);
Lcd_Chr(2,8,'%');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');

if(piscaSP == 0)
{
ByteToStr(novoH_V,novoH_V_STR);
Lcd_Out(2,11,novoH_V_STR);
Lcd_Chr(2,14,'%');
}
elseif(piscaSP == 1)
{
Lcd_Chr(2,11,' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr(2,14,'%');
}

}

voidSSSMenuSP()
{
LimpezaLCD();
flagMenu = 0x01; //Tela de ajuste de Umidade
auxD = 0x04; //SSSmenu
```

```
Lcd_Out(1,1,"SP: Atual Novo");

ByteToStr(atualSP_U[nGrupo],atualSP_U_STR);
Lcd_Out(2,5,atualSP_U_STR);
Lcd_Chr(2,8,'%');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');

if(piscaSP == 0)
{
ByteToStr(novoSP_U,novoSP_U_STR);
Lcd_Out(2,11,novoSP_U_STR);
Lcd_Chr(2,14,'%');
}

elseif(piscaSP == 1)
{
Lcd_Chr(2,11,' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr(2,14,'%');
}
}

voidSSSMenuHist()
{
LimpezaLCD();
flagMenu = 0x01; //Tela de ajuste de Umidade
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
```

```
auxD = 0x04; //SSSmenu

Lcd_Out(1,3,"HISTERESE(%");

ByteToStr(atualH_U[nGrupo],atualH_U_STR);
Lcd_Out(2,5,atualH_U_STR);
Lcd_Chr(2,8,'%');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');

if(piscaSP == 0)
{
ByteToStr(novoH_U,novoH_U_STR);
Lcd_Out(2,11,novoH_U_STR);
Lcd_Chr(2,14,'%');
}
elseif(piscaSP == 1)
{
Lcd_Chr(2,11,' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr(2,14,'%');
}

}

/*
voidSSSMenuSensores()
{
LimpezaLCD();
flagMenu = 0x01; //Tela de ajuste de Umidade
```

```
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
auxD = 0x04; //SSSmenu

Lcd_Out(1,1,"QTD: Atual Novo");

ByteToStr(nSensores,nSensores_STR);
Lcd_Out(2,5,nSensores_STR);

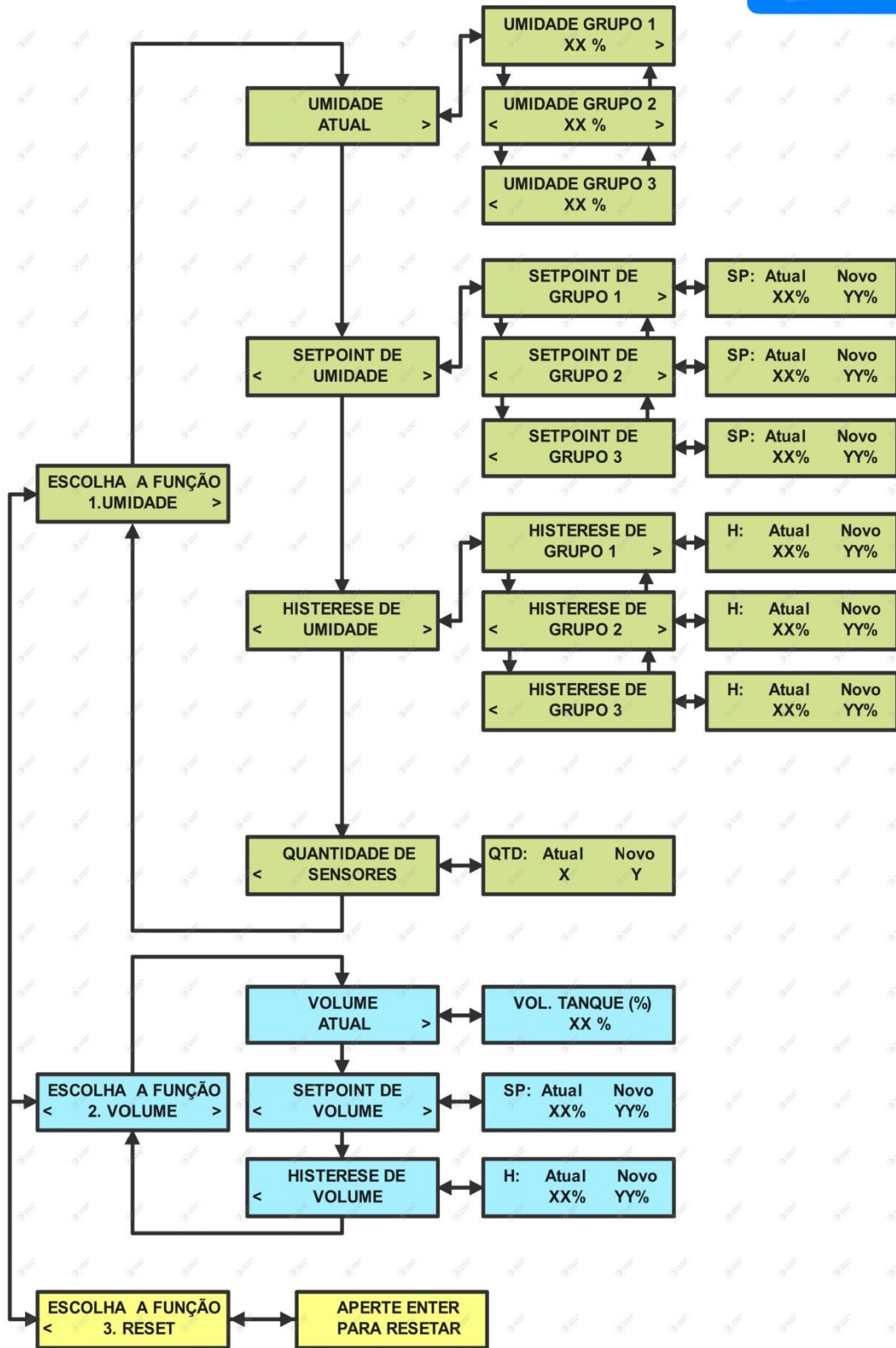
if(piscaSP == 0)
{
ByteToStr(novoSensores,novoSensores_STR);
Lcd_Out(2,11,novoSensores_STR);
}
elseif(piscaSP == 1)
{
Lcd_Chr(2,11,' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');
Lcd_Chr_Cp(' ');
}

}
*/

voidLimpezaLCD()
{
if(limpaLCD) //Se flag limpaLCD estiver ativada, então...
{
```

```
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpa display  
limpaLCD = 0x00; //Desativa flag para não repetir a limpeza  
} //EndiflimpaLCD  
} //EndLimpezaLCD
```

ANEXO B – Fluxograma de menus do display LCD



ANEXO C – Metodologia para Cálculo da distância/altura da água presente no reservatório

O sensor ultrassônico de distância foi utilizado como método de medição da altura do líquido presente no tanque/reservatório de água para irrigação. O método de cálculo é como segue. Para determinar a distância do sensor até um obstáculo, basta utilizar a teoria da física mecânica básica, onde a distância é produto da velocidade pelo tempo.

$$d = v \cdot t$$

Com isso, o próprio datasheet do sensor fornece a seguinte fórmula para calcular a distância:

$$d = \frac{v_{som} \cdot t_{\mu s}}{2}$$

Onde:

d - Distância entre o sensor e o obstáculo

v_{som} - Velocidade do som (aproximadamente 340 m/s a 25°C)

$t_{\mu s}$ - Tempo em microssegundos para o pulso do sensor ir e voltar

A expressão é dividida por dois pois o tempo necessário para o pulso emitido pelo transmissor ir até o obstáculo e retornar para o receptor equivale ao dobro da distância entre o sensor e o obstáculo. Através dessa expressão, é possível extrair uma constante de proporcionalidade que facilita os cálculos através do microcontrolador, permitindo determinar a distância medida pelo sensor já em centímetros, conforme abaixo. Isolando a variável tempo na equação, e considerando a distância de 1 metro, temos:

$$t_{\mu s} = \frac{2}{v_{som}} \cdot d$$

$$t_{\mu s} = \frac{2}{340} \cdot 1$$

$$t_{\mu s} = 5882 \mu s$$

Dividindo o resultado por cem, obtemos a constante de proporcionalidade que permite determinar a distância medida pelo sensor em centímetros, conforme apresenta o datasheet:

Formula: $\mu s / 58 = \text{centimeters}$
--

(Retirado do datasheet do HC-SR04)

Por fim, através do diagrama de tempo extraído do datasheet, é possível observar o funcionamento do sensor, conforme mostrado na Figura 47:

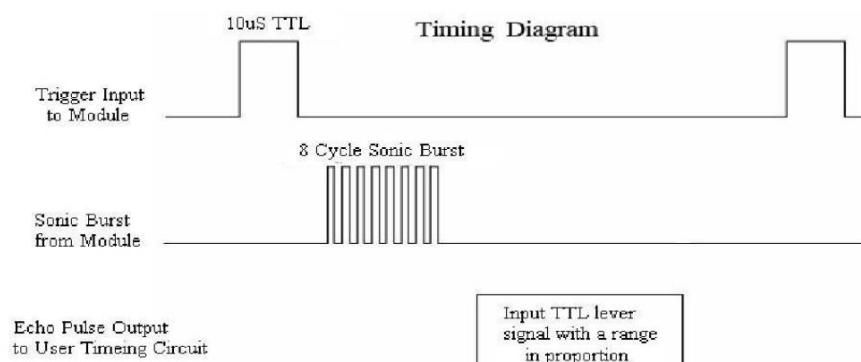


Figura 47 – Diagrama de tempo do sensor ultrassônico HC-SR04

Fonte: 47 – Datasheet do sensor

Através do microcontrolador, é enviado um pulso TTL (0 a 5V) de 10µs no terminal Trigger do sensor, em seguida o sensor envia 8 ciclos de ultrassom na frequência de 40 kHz, e por fim o terminal Echo ficará em nível alto pelo tempo proporcional à distância em relação ao obstáculo.

Neste projeto, o sensor é utilizado para monitorar o nível do reservatório utilizado na maquete, permitindo calcular o volume de água presente no reservatório através da variação da altura do nível de água presente. Calculando a distância do sensor até a superfície da água e conhecendo as dimensões do reservatório, é determinada a altura de água, permitindo representar o nível percentual do reservatório, bem como configurar a proteção para a bomba em caso de falta de água. A Figura 48 mostra as principais especificações do sensor HC-SR04.

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm

Figura 48 - Parâmetros Elétricos do Sensor HC-SR04 - Datasheet

Fonte: 48 – Datasheet do sensor

ANEXOD – Modo de operação do CI 74HC595

A Figura 49 mostra o circuito esquemático do CI's 74HC595. Neste caso **DS** é a entrada de dados, Q0 a Q7 são as saídas paralelas de dados, a entrada \overline{OE} (output enable) é mantida em nível lógico baixo para habilitar as saídas, a entrada \overline{MR} (master reset) é mantida em nível lógico alto (pois zera todas as saídas aplicando nível lógico baixo), a entrada **STCP** (storageregisterclock input) é responsável por armazenar os dados previamente no primeiro estágio do registrador de 8 bits, e a entrada **SHCP** (shift registerclock input) recebe o clock de controle para enviar os dados para a saída, conforme é possível observar em detalhes no diagrama abaixo. Desta forma, os dados de entrada são enviados de forma serial, e depois a saída é atualizada. A figura 50 apresenta o diagrama de tempo do registrador de deslocamento.

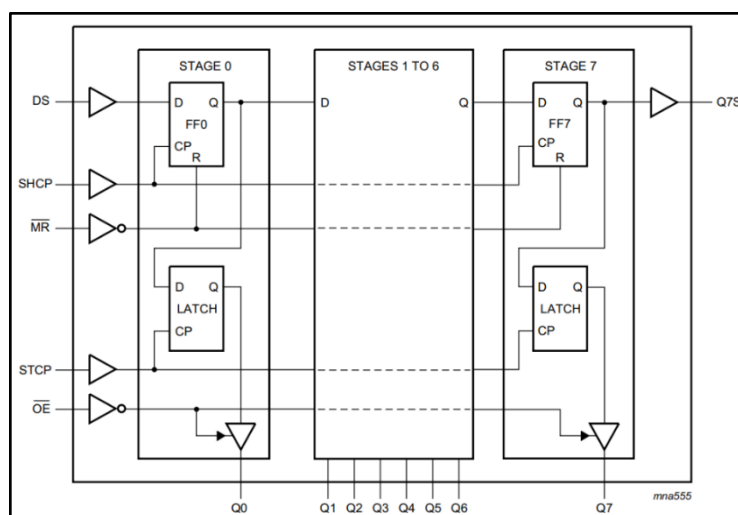


Figura 49 – Esquemático simplificado do 74HC595

Fonte: 49 – Datasheet do 74HC595

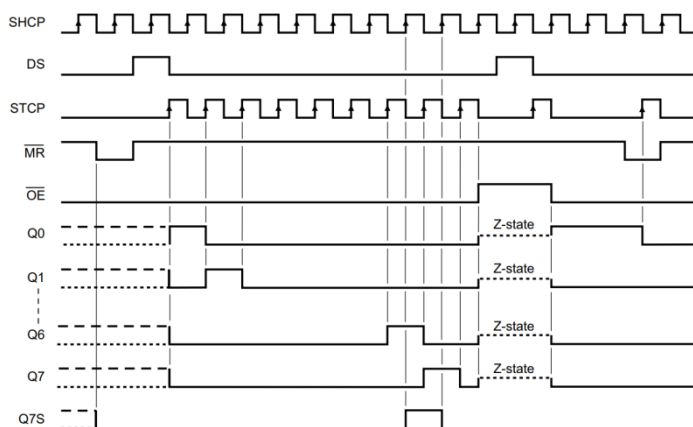


Figura 50 – Diagrama de tempo do 74HC595

Fonte: 50 – Datasheet do 74HC595

Com isso, por meio de um algoritmo de controle das entradas do registrador de deslocamento, esse circuito integrado permite acionar múltiplas saídas utilizando apenas 3 saídas digitais do PIC.

Também é possível expandir para mais de 8 saídas mantendo os mesmos 3 pinos do PIC para controle, bastando adicionar mais CI's 74HC595 em cascata, limitando-se apenas à capacidade de processamento do próprio PIC.

<p>Especificações:</p> <ul style="list-style-type: none">- CI 74HC595 (datasheet)- Tensão de alimentação: 2 à 6VDC- Corrente de operação: 20mA- Acionamento: entrada serial de 8bits- Saídas: 8- Registrador de deslocamento (shift register)- Expansor de portas- Encapsulamento: DIP / PDIP- Pinos: 16- Temperatura de operação: -40°C a +85°C
--

Figura 51 – Especificações 74HC595

Fonte: 51 - <https://www.filipeflop.com/produto/74hc595-ci-registrador-de-deslocamento/>

ANEXO E – Componentes do sistema de navegação por menus com LCD

O LCD (Liquid Crystal Display) é um dispositivo muito utilizado para fornecer respostas visuais como uma informação, o resultado de um cálculo matemático, e vários outros tipos de interação com dispositivos eletrônicos por meio de elementos gráficos.

É constituído de um microprocessador de controle, uma memória RAM chamada DRAM para manter escritos na tela os dados recebidos de um microcontrolador, e uma memória RAM chamada CGRAM responsável pela construção de caracteres especiais.

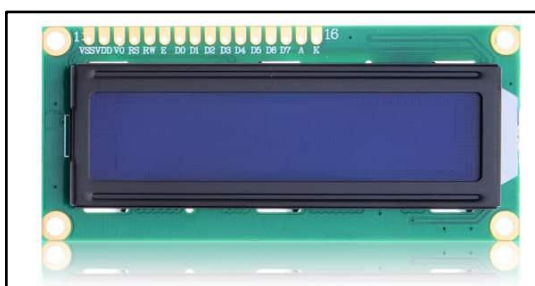


Figura 52 – Imagem de display LCD físico

Fonte: 52 - <https://www.filipeflop.com/produto/display-lcd-16x2-backlight-azul/>

Normalmente, possui de 14 a 16 pinos, com a diferença que os de 16 pinos apresentam 2 pinos adicionais (A e K) para ativação da luz de fundo do display (backlight).

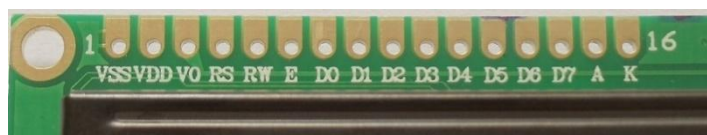


Figura 53 – Pinagem do display LCD

Fonte: 53 - <https://www.filipeflop.com/blog/display-lcd-16x2-pic-16f628a/>

Além dos 2 pinos de backlight, possui 3 pinos de alimentação (VSS, VDD e V0), 3 pinos de controle (RS, R/W e E), e 8 pinos de dados (D0 até D7).

Neste projeto, foi utilizado um LCD 16x2 (16 colunas e 2 linhas), com a topologia de ligação mostrada na Figura 52, onde não são utilizados 4 dos 8 pinos de dados. Também é previsto um potenciômetro conectado ao pino de controle V0 para ajuste da intensidade da luz de fundo do LCD.



Conexões LCD 16x2 - HD44780		
Pino LCD	Função	Ligação
1	Vss	GND
2	Vdd	Vcc 5V
3	V0	Pino central potenciômetro
4	RS	RD2
5	RW	GND
6	E	RD3
7	D0	Não conectado
8	D1	Não conectado
9	D2	Não conectado
10	D3	Não conectado
11	D4	RD4
12	D5	RD5
13	D6	RD6
14	D7	RD7
15	A	Vcc 5V
16	K	GND

Figura 54 – Conexões típicas do display LCD

Fonte: 54 - Material de Aula Micro II – Professor Me. Mauricio Deffert

O LCD foi usado tanto para monitorar as variáveis envolvidas no processo de irrigação (umidade do solo e nível do reservatório) quanto para navegar nas funções de ajustes do sistema (ajustes de setpoint, histerese e reset de fábrica).

Para garantir uma operação intuitiva e eficiente das configurações do sistema de irrigação, foram adicionados pequenos componentes que trabalham em conjunto com o LCD.



Figura 55 – Botão de pulso usado para navegação dos menus do LCD

Fonte: 55 - <https://www.mamuteeletronica.com.br/push-button-pci-7x7-sem-trava>

Um deles é o botão de pulso sem retenção da Figura 56. Neste projeto foram utilizados 5 botões iguais, dos quais 4 servem para navegação entre as telas do LCD (teclas de esquerda, direita, voltar e entrar), e 1 botão para acionar a função de master clear do PIC.



Figura 56 – Potenciômetro para ajuste de luz de fundo do LCD

Fonte: 56 - <https://www.mamuteeletronica.com.br/>

Por fim, foi utilizado em conjunto com o LCD, um potenciômetro linear de 10k Ω , utilizado para controlar a intensidade da luz de fundo do LCD através do pino de controle V0 do display.

ANEXO F – Circuito regulador de tensão de +24Vcc para +5Vcc

Muitas vezes, em diversos projetos de eletrônica, é necessário reduzir níveis de tensão para valores convenientes, seja em circuitos de fontes de alimentação ou em circuitos gerais onde se necessita de um nível de tensão específico.

Para isso, existem os circuitos integrados da família 7800, que podem fornecer tensões de 5V a 24V, tipicamente com capacidade de corrente de 1A.

A nomenclatura de cada circuito integrado da família 78XX indica sua tensão de saída, onde XX representa essa tensão, e seu encapsulamento é do tipo TO-220, conforme a Figura 57.

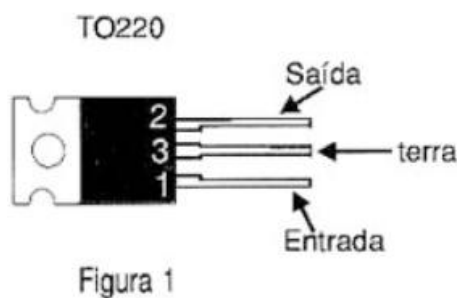


Figura 57 – Terminais do regulador de tensão 7805

Fonte: 57 - <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/1076-art156.html>

Para os reguladores de 5V a 18V, a tensão de entrada máxima é da ordem de 35V, enquanto os reguladores de 24V podem trabalhar com até 40V na entrada.

Os fabricantes recomendam também, que a tensão da entrada seja no mínimo 2V acima da tensão de saída do regulador para que haja bom funcionamento.

Os reguladores dessa família também possuem proteção interna contra curto circuito.

Para o projeto do sistema de irrigação foi utilizado o regulador 7805, que é alimentado com uma fonte de +24V na entrada e fornece uma tensão de +5V na saída para alimentação do PIC, LCD e demais componentes do circuito. Na Figura 58 encontram-se suas principais características.

7805 - Características

	min.	tip.	max.	
Tensão de saída	4,8	5,0	5,2	volts
Regulagem de linha	-	3	50	mV
Regulagem de carga	-	15	50	mV
Corrente quiescente	-	4,2	6,0	mA
Rejeição de ripple	60	70	-	dB
Resistência de saída	-	17	-	mOhms

Figura 58 – Características regulador 7805

Fonte: 58 - <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/1076-art156.html>

A topologia utilizada no regulador responsável por alimentar o circuito do projeto é ilustrada na Figura 59.

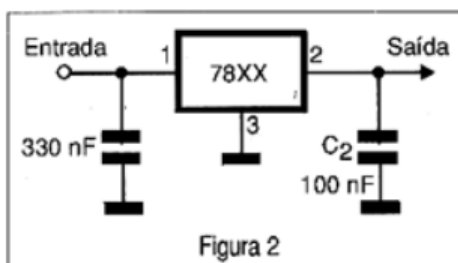


Figura 59 – Circuito regulador de tensão típico utilizado no protótipo

Fonte: 59 - <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/1076-art156.html>

Nesta configuração, um capacitor cerâmico de 330nF desacopla a entrada do regulador, e um capacitor de 100nF na saída evita oscilações em altas frequências e também desacopla a saída.

ANEXO G – Módulo de relés para acionamento de válvulas e bomba

Bastante comercializado com o nome de “*rele shield*” para uso em plataformas como Arduino, consiste em um conjunto de relés acionáveis por pinos digitais presentes na própria placa. É possível encontrar módulos com 2, 4, 8, 12 ou até mais relés montados em uma placa de circuito já dimensionada para trabalhar com as saídas digitais de microcontroladores diversos, já que os mesmos possuem limitações quanto a corrente máxima de saída desses pinos. A Figura 60 apresenta o módulo de relés.



Figura 60 – Módulo de relés

Fonte: 60 - <https://www.eletrogate.com>

Visando a economia de tempo com soldagem de componentes, pensando na expansibilidade da quantidade de saídas graças ao arranjo utilizando o circuito com 74HC595, e pensando também em economia, já que o módulo em questão já pertencia a um dos membros do grupo devido a projetos passados, optou-se por utilizar um módulo de 4 relés.

O módulo possui as seguintes características constantes na Figura 61:

Tensão de operação	5VDC (VCC e GND)
Tensão de sinal	5VCD (IN1, IN2, IN3 e IN4)
Corrente típica de operação	20mA
Cada relé possui 6 terminais	(VCC, IN1, IN2, IN3, IN4, GND)
Contato do relé permite tensão de até	VDC a 10A ou 250VAC a 10A
Dimensões	72mm x 54mm x 17mm

Figura 61 – Características do módulo de relés

Fonte: 61 - <https://www.eletrogate.com>

Os comandos de acionamento dos relés são feitos pelo PIC em conjunto com o CI 74HC595 que controla todas as saídas de carga (bomba e válvulas). Dessa forma, o módulo de relés foi utilizado neste projeto para acionar as 3 válvulas e uma bomba de irrigação utilizada na maquete de demonstração do projeto.

ANEXO H – Válvula solenoide e conexões de engate rápido para tubulação de irrigação

As válvulas são importantes componentes em processos de controle, pois garantem que o fornecimento de um determinado fluido seja realizado de um ponto a outro de um sistema apenas nos momentos desejados.

Para garantir que o solo seja irrigado apenas nos momentos de interesse, respeitando os ajustes dos parâmetros do sistema, foram utilizadas 3 válvulas, sendo uma para cada grupo de cultivo, e que são acionadas em conjunto com a bomba d'água para realizar o processo de irrigação. A Figura 60 mostra um modelo similar ao utilizado neste projeto.



Figura 62 – Válvula solenoide

Fonte: 62 - https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-735949966-valvula-solenoide-22-vias-n-fechada-14-aguaoleoar-24v-_JM

As válvulas utilizadas funcionam com 24Vcc, e são do tipo NF (normalmente fechada), permanecendo fechadas na ausência de tensão na bobina. As válvulas são abertas quando acionadas para realizar a irrigação do sistema.

Na Figura 63 encontram-se as demais especificações técnicas das válvulas utilizadas.

Vedação NBR
 Rosca fêmea de 1/4" BSP
 Pressão de trabalho 0 - 8 Kgf / cm² (0 - 116 psi)
 Pressão máxima de trabalho 10 kgf / cm² (145 psi)
 Temperatura de trabalho de até 80 °C
 Corpo em latão
 Aplicação: ÁGUA / ÓLEO / AR
 Potência da bobina 12W

Figura 63 – Especificações das válvulas utilizadas

Fonte: 63 - https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-735949966-valvula-solenoide-22-vias-n-fechada-14-aguaoleoar-24v-_JM

Juntamente com as válvulas foram utilizadas conexões de engate rápido capazes de acoplar as tubulações nas válvulas sem que houvessem vazamentos. A Figura 64 mostra o tipo de conexão de engate rápido utilizado para conectar os tubos de 6 mm nas válvulas solenoide.



Figura 64 – Conexões de engate rápido utilizadas

Fonte: 64 - <https://www.ferramentaskennedy.com.br/29893/conexao-rapida-reta-macho-1-4-x-12-mm-bsp-pc12g02-conecfit>

As conexões possuem rosca macho de ¼" do tipo BSP, e possuem engate para os tubos de 6 mm utilizados no sistema de irrigação da maquete.

ANEXO I – Bomba de irrigação

A bomba d'água é um importante componente dos mais diversos tipos de sistemas de irrigação, pois são responsáveis por transportar a água pelas tubulações até os pontos a serem irrigados, além de garantirem a pressão adequada para determinados pontos do sistema.

Com o objetivo de desenvolver uma maquete funcional, capaz de demonstrar os princípios de funcionamento do sistema proposto, garantindo a pressão adequada para os gotejadores, foi escolhida uma pequena bomba d'água utilizada em aquários e fontes, capaz de transportar a água do reservatório até as estacas gotejadoras instaladas no solo.



Figura 65 – Bomba submersível utilizada no protótipo

Fonte: 65 - https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-956734079-bomba-submersivel-para-aquario-e-fontes-500lh-110v-ou-220v-_JM

A bomba é do tipo submersível, devendo obrigatoriamente, permanecer embaixo d'água, caso contrário ela pode queimar. Na Figura 66 encontram-se os dados fornecidos pelo fabricante.

Características:

- Potência: 7W
- Vazão máxima: 500 L/h com regulagem
- Elevação máxima: 80 cm
- Tensão de Operação: 127V/60Hz
- Cabo de alimentação com 1,2 m de comprimento
- Vedação IPX8 (à prova d'água)

Figura 66 – Especificações técnicas das válvulas solenoide utilizadas

Fonte: 66 - https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-956734079-bomba-submersivel-para-aquario-e-fontes-500lh-110v-ou-220v-_JM

ANEXO J – Alimentação elétrica dos componentes do protótipo

Para garantir a alimentação elétrica de todos os dispositivos envolvidos no protótipo, é necessário verificar os níveis de tensão de operação de cada um, bem como seu respectivo consumo de potência, de modo que a fonte principal tenha capacidade de suprir toda a demanda de potência e que os dispositivos recebam o nível adequado de tensão para seu correto funcionamento.

Este projeto trabalha com especificações quanto à alimentação conforme mostrado na tabela 10:

Bomba de água	127Vac	0,06 A
Válvulas	24Vdc	1,50 A
Módulo de Relés	5Vdc	0,02 A
PIC, CI's, sensores, LCD e demais componentes	5Vdc	0,20A
Total		~1,80 A

Tabela 10 – Estimativa de consumo dos componentes do protótipo

Portanto, o circuito trabalha com dois níveis de tensão contínua de +24Vdc e +5Vdc, e um nível de tensão alternada de 127Vac.

De modo a se aproveitar a existência de uma fonte de alimentação de 24Vcc que já pertencia a um dos integrantes do grupo, o protótipo foi montado para trabalhar com esses três níveis de tensão da seguinte maneira:

- Uma entrada de 127Vac da rede elétrica é utilizada para alimentar uma fonte e para alimentar a bomba de água.
- A fonte fornece 24Vdc em sua saída e alimenta as válvulas de cada grupo de cultivo e um regulador de tensão 7805 presente logo na entrada da placa de circuito.
- O regulador 7805 fornece 5Vdc na saída para alimentar os demais dispositivos.

Dessa forma, para garantir que haja potência suficiente para alimentar todos os componentes, e permitir que todos os níveis de tensão sejam atendidos, foi utilizada uma fonte chaveada de 24Vcc para alimentação geral do circuito. A Figura 67 mostra o modelo de fonte utilizado.



Figura 67 – Fonte chaveada 24Vcc / 3A

Fonte: 67 - https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2134278006-fonte-chaveada-24v-3a-mx-75-24-cftv-bivolt-110220vac-_JM

A Figura 68 apresenta as principais características da fonte utilizada.

- Alimentação: Bivolt Automático FULL RANGE 100 a 240 Volts AC
- Saída: 24 Volts DC
- Corrente Máxima: 3 Amperes
- Proteção contra curto circuito e sobrecarga na saída
- Proteção contra sobre temperatura (aquecimento)
- Frequência de operação de 50 a 60 Hz
- Saída de tensão totalmente estabilizada
- Filtros EMI e EFI
- Comprimento da fonte: Aproximadamente 1 metro.

Figura 68 – Especificações técnicas fonte chaveada 24 Vcc

Fonte: 68 - https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2134278006-fonte-chaveada-24v-3a-mx-75-24-cftv-bivolt-110220vac-_JM

Levando-se em conta a somatória das correntes consumidas por cada componente do protótipo, a fonte adotada é capaz de atender plenamente a demanda de potência, pois possui 3A/72W de capacidade ante os 1,8 A necessários para alimentar todos os componentes do sistema.

ANEXO K – Kit de micro irrigação por gotejamento da Amanco®

Para a montagem da maquete de demonstração de funcionamento do sistema, foi utilizado um kit de micro irrigação por gotejamento da Amanco®, conforme mostrado na Figura 69.

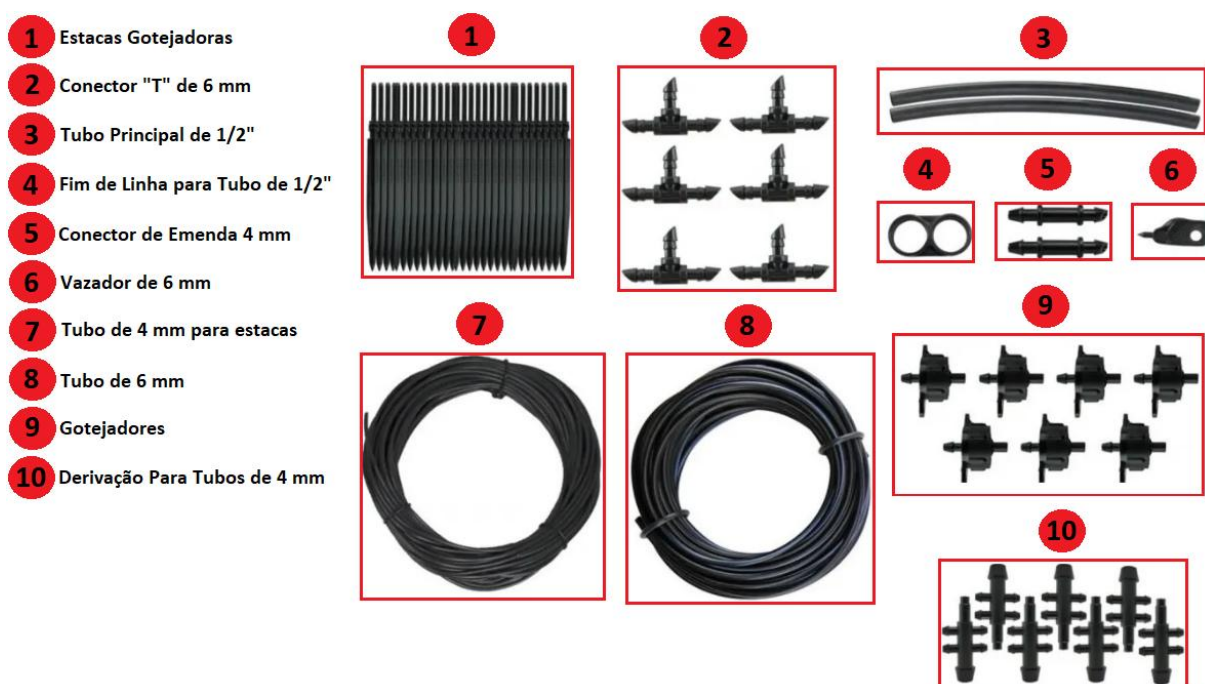


Figura 69 – Kit de micro irrigação por gotejamento da Amanco®

Fonte: 69 – Autoria própria

O kit acompanha todos os itens da imagem acima, e foi utilizado para montar uma maquete capaz de representar da maneira mais fiel possível um sistema real de micro irrigação por gotejamento.

ANEXO L – Resultados completos obtidos com sensores de umidade do solo

SENSOR 1								
Massa Inicial (g)	Adição (teórica)	Adição (exp)	Massa Nova (teórica)	Massa Nova (exp)	Massa H2O	Ug (%)	Leitura Sensor (V)	Observações
175,03	-	-	-	-		0%	3,64	Valor Inicial (solo seco)
175,03		0,27	175,03	175,30	0,27	0,15%	3,63	Medições a cada 5 minutos
175,30		0,75	175,30	176,05	1,02	0,58%	3,60	
176,05		0,72	176,05	176,77	1,74	0,99%	3,57	
176,77		0,76	176,77	177,53	2,50	1,43%	3,54	
177,53		0,77	177,53	178,30	3,27	1,87%	3,52	
178,30		0,76	178,30	179,06	4,03	2,30%	3,48	
179,06		0,72	179,06	179,78	4,75	2,71%	3,44	
179,78		0,74	179,78	180,52	5,49	3,14%	3,34	
180,52		0,74	180,52	181,26	6,23	3,56%	3,30	
181,26		0,72	181,26	181,98	6,95	3,97%	3,20	
181,98		0,73	181,98	182,71	7,68	4,39%	3,12	
182,71		0,74	182,71	183,45	8,42	4,81%	3,06	
183,45		0,72	183,45	184,17	9,14	5,22%	2,90	
184,17		0,70	184,17	184,87	9,84	5,62%	2,90	
184,87		0,77	184,87	185,64	10,61	6,06%	2,95	
185,64		0,75	185,64	186,39	11,36	6,49%	2,93	
186,39		0,75	186,39	187,14	12,11	6,92%	2,92	
187,14		0,76	187,14	187,90	12,87	7,35%	2,90	
187,90		0,74	187,90	188,64	13,61	7,78%	2,89	
188,64		0,68	188,64	189,32	14,29	8,16%	2,88	até aqui 10 gotas
189,32		1,48	189,32	190,80	15,77	9,01%	2,80	a partir daqui 20 gotas
190,80		1,33	190,80	192,13	17,10	9,77%	2,68	
192,13		1,45	192,13	193,58	18,55	10,60%	2,54	
193,58		1,47	193,58	195,05	20,02	11,44%	2,49	
195,05		1,49	195,05	196,54	21,51	12,29%	2,46	
196,54		1,43	196,54	197,97	22,94	13,11%	2,46	
197,97		2,12	197,97	200,09	25,06	14,32%	2,44	30 gotas a partir daqui
200,09		2,19	200,09	202,28	27,25	15,57%	2,43	
202,28		3,60	202,28	205,88	30,85	17,63%	2,36	50 gotas a partir daqui
205,88		3,84	205,88	209,72	34,69	19,82%	2,27	
209,72		3,57	209,72	213,29	38,26	21,86%	2,19	
213,29		3,67	213,29	216,96	41,93	23,96%	2,12	
216,96		3,52	216,96	220,48	45,45	25,97%	2,05	
220,48		3,62	220,48	224,10	49,07	28,04%	2,00	
224,10		3,62	224,10	227,72	52,69	30,10%	1,97	
227,72		3,52	227,72	231,24	56,21	32,11%	1,95	
231,24		3,62	231,24	234,86	59,83	34,18%	1,93	
234,86		3,50	234,86	238,36	63,33	36,18%	1,92	5mL a partir daqui
238,36		4,97	238,36	243,33	68,30	39,02%	1,89	
243,33		4,98	243,33	248,31	73,28	41,87%	1,87	
248,31		5,04	248,31	253,35	78,32	44,75%	1,84	
253,35		5,00	253,35	258,35	83,32	47,60%	1,83	
258,35		5,19	258,35	263,54	88,51	50,57%	1,81	
263,54		5,22	263,54	268,76	93,73	53,55%	1,80	
268,76		5,00	268,76	273,76	98,73	56,41%	1,80	
273,76		5,09	273,76	278,85	103,82	59,32%	1,79	
278,85		3,30	278,85	282,15	107,12	61,20%	1,78	
282,15		5,43	282,15	287,58	112,55	64,30%	1,76	
287,58		5,16	287,58	292,74	117,71	67,25%	1,77	
292,74			292,74	292,74	117,71	67,25%	Leitura Saturada	Solo encharcado
292,74			292,74	292,74	117,71	67,25%	Leitura Saturada	Solo encharcado
292,74			292,74	292,74	117,71	67,25%	Leitura Saturada	Solo encharcado
292,74			292,74	292,74	117,71	67,25%	Leitura Saturada	Solo encharcado
292,74			292,74	292,74	117,71	67,25%	Leitura Saturada	Solo encharcado
292,74			292,74	292,74	117,71	67,25%	Leitura Saturada	Solo encharcado

Figura 70 – Resultados obtidos durante ensaios do sensor 1

Fonte: 70 – Autoria própria

SENSOR 2							
Massa Inicial (g)	Adição (teórica)	Adição (exp)	Massa Nova (teórica)	Massa Nova (exp)	Ug (%)	Leitura Sensor (V)	Observações
175,32	-	-	-	-	0%	3,60	Valor Inicial (solo seco)
175,32		0,35	175,32	175,67	0,20%	3,60	Medições a cada 5 minutos
175,67		0,73	175,67	176,40	0,62%	3,49	
176,40		0,73	176,40	177,13	1,03%	3,40	
177,13		0,74	177,13	177,87	1,45%	3,33	
177,87		0,75	177,87	178,62	1,88%	3,25	
178,62		0,74	178,62	179,36	2,30%	3,18	
179,36		0,73	179,36	180,09	2,72%	3,13	
180,09		0,73	180,09	180,82	3,14%	3,14	
180,82		0,75	180,82	181,57	3,56%	3,12	
181,57		0,74	181,57	182,31	3,99%	3,10	
182,31		0,74	182,31	183,05	4,41%	3,07	
183,05		0,73	183,05	183,78	4,83%	3,06	
183,78		0,74	183,78	184,52	5,25%	2,90	
184,52		0,77	184,52	185,29	5,69%	2,90	
185,29		0,69	185,29	185,98	6,08%	3,00	
185,98		0,70	185,98	186,68	6,48%	2,98	
186,68		0,75	186,68	187,43	6,91%	2,98	
187,43		0,73	187,43	188,16	7,32%	2,96	
188,16		0,76	188,16	188,92	7,76%	2,95	
188,92		0,72	188,92	189,64	8,17%	2,95	até aqui 10 gotas
189,64		1,51	189,64	191,15	9,03%	2,91	a partir daqui 20 gotas
191,15		1,50	191,15	192,65	9,88%	2,87	
192,65		1,43	192,65	194,08	10,70%	2,86	
194,08		1,47	194,08	195,55	11,54%	2,83	
195,55		1,51	195,55	197,06	12,40%	2,82	
197,06		1,39	197,06	198,45	13,19%	2,81	
198,45		2,16	198,45	200,61	14,43%	2,79	30 gotas a partir daqui
200,61		2,21	200,61	202,82	15,69%	2,77	
202,82		3,53	202,82	206,35	17,70%	2,73	50 gotas a partir daqui
206,35		3,89	206,35	210,24	19,92%	2,65	
210,24		3,65	210,24	213,89	22,00%	2,56	
213,89		3,67	213,89	217,56	24,09%	2,42	
217,56		3,57	217,56	221,13	26,13%	2,34	
221,13		3,65	221,13	224,78	28,21%	2,28	
224,78		3,58	224,78	228,36	30,25%	2,23	
228,36		3,54	228,36	231,90	32,27%	2,18	
231,90		3,59	231,90	235,49	34,32%	2,16	
235,49		3,57	235,49	239,06	36,36%	2,14	
239,06		5,05	239,06	244,11	39,24%	2,10	5mL a partir daqui
244,11		5,04	244,11	249,15	42,11%	2,08	
249,15		5,06	249,15	254,21	45,00%	2,05	
254,21		5,14	254,21	259,35	47,93%	2,03	
259,35		5,20	259,35	264,55	50,90%	2,00	
264,55		5,13	264,55	269,68	53,82%	1,96	
269,68		5,17	269,68	274,85	56,77%	1,90	
274,85		5,04	274,85	279,89	59,65%	1,86	
279,89		5,29	279,89	285,18	62,66%	1,83	
285,18		5,39	285,18	290,57	65,74%	1,83	
290,57		5,16	290,57	295,73	68,68%	2,11	
295,73			295,73	295,73	68,68%	Leitura Saturada	Solo encharcado
295,73			295,73	295,73	68,68%	Leitura Saturada	Solo encharcado
295,73			295,73	295,73	68,68%	Leitura Saturada	Solo encharcado
295,73			295,73	295,73	68,68%	Leitura Saturada	Solo encharcado
295,73			295,73	295,73	68,68%	Leitura Saturada	Solo encharcado
295,73			295,73	295,73	68,68%	Leitura Saturada	Solo encharcado

Figura 71 - Resultados obtidos durante ensaios do sensor 2

Fonte: 71 – Autoria própria

SENSOR 3							
Massa Inicial (g)	Adição (teórica)	Adição (exp)	Massa Nova (teórica)	Massa Nova (exp)	Ug (%)	Leitura Sensor (V)	Observações
174,84	-	-	-	-	0%	3,63	Valor Inicial (solo seco)
174,84		0,30	174,84	175,14	0,17%	3,64	Medições a cada 5 minutos
175,14		0,67	175,14	175,81	0,55%	3,61	
175,81		0,70	175,81	176,51	0,96%	3,55	
176,51		0,71	176,51	177,22	1,36%	3,44	
177,22		0,74	177,22	177,96	1,78%	3,39	
177,96		0,75	177,96	178,71	2,21%	3,35	
178,71		0,69	178,71	179,40	2,61%	3,33	
179,40		0,72	179,40	180,12	3,02%	3,29	
180,12		0,71	180,12	180,83	3,43%	3,26	
180,83		0,74	180,83	181,57	3,85%	3,20	
181,57		0,73	181,57	182,30	4,27%	3,15	
182,30		0,69	182,30	182,99	4,66%	3,09	
182,99		0,74	182,99	183,73	5,08%	3,00	
183,73		0,73	183,73	184,46	5,50%	2,90	
184,46		0,74	184,46	185,20	5,93%	2,98	
185,20		0,75	185,20	185,95	6,35%	2,96	
185,95		0,71	185,95	186,66	6,76%	2,94	
186,66		0,71	186,66	187,37	7,17%	2,92	
187,37		0,72	187,37	188,09	7,58%	2,91	
188,09		0,76	188,09	188,85	8,01%	2,90	até aqui 10 gotas
188,85		1,44	188,85	190,29	8,84%	2,88	a partir daqui 20 gotas
190,29		1,42	190,29	191,71	9,65%	2,85	
191,71		1,48	191,71	193,19	10,50%	2,83	
193,19		1,43	193,19	194,62	11,31%	2,80	
194,62		1,44	194,62	196,06	12,14%	2,77	
196,06		1,37	196,06	197,43	12,92%	2,76	
197,43		2,16	197,43	199,59	14,16%	2,74	30 gotas a partir daqui
199,59		2,19	199,59	201,78	15,41%	2,72	
201,78		3,70	201,78	205,48	17,52%	2,66	50 gotas a partir daqui
205,48		3,80	205,48	209,28	19,70%	2,57	
209,28		3,74	209,28	213,02	21,84%	2,43	
213,02		3,65	213,02	216,67	23,92%	2,29	
216,67		3,52	216,67	220,19	25,94%	2,18	
220,19		3,73	220,19	223,92	28,07%	2,12	
223,92		3,69	223,92	227,61	30,18%	2,08	
227,61		3,57	227,61	231,18	32,22%	2,06	
231,18		3,48	231,18	234,66	34,21%	2,05	
234,66		3,55	234,66	238,21	36,24%	2,04	5mL a partir daqui
238,21		5,10	238,21	243,31	39,16%	2,01	
243,31		5,00	243,31	248,31	42,02%	1,98	
248,31		5,09	248,31	253,40	44,93%	1,96	
253,40		5,14	253,40	258,54	47,87%	1,94	
258,54		5,00	258,54	263,54	50,73%	1,91	
263,54		5,30	263,54	268,84	53,76%	1,89	
268,84		5,10	268,84	273,94	56,68%	1,87	
273,94		5,20	273,94	279,14	59,65%	1,85	
279,14		5,32	279,14	284,46	62,70%	1,83	
284,46		5,33	284,46	289,79	65,75%	1,82	
289,79		5,11	289,79	294,90	68,67%	1,82	
294,90			294,90	294,90	68,67%	itura Saturada	Solo encharcado
294,90			294,90	294,90	68,67%	itura Saturada	Solo encharcado
294,90			294,90	294,90	68,67%	itura Saturada	Solo encharcado
294,90			294,90	294,90	68,67%	itura Saturada	Solo encharcado
294,90			294,90	294,90	68,67%	itura Saturada	Solo encharcado
294,90			294,90	294,90	68,67%	itura Saturada	Solo encharcado

Figura 72 - Resultados obtidos durante ensaios do sensor 2

Fonte: 72 – Autoria própria

ANEXO M – Resultados graficamente representados do comportamento dos sensores em função da umidade do solo

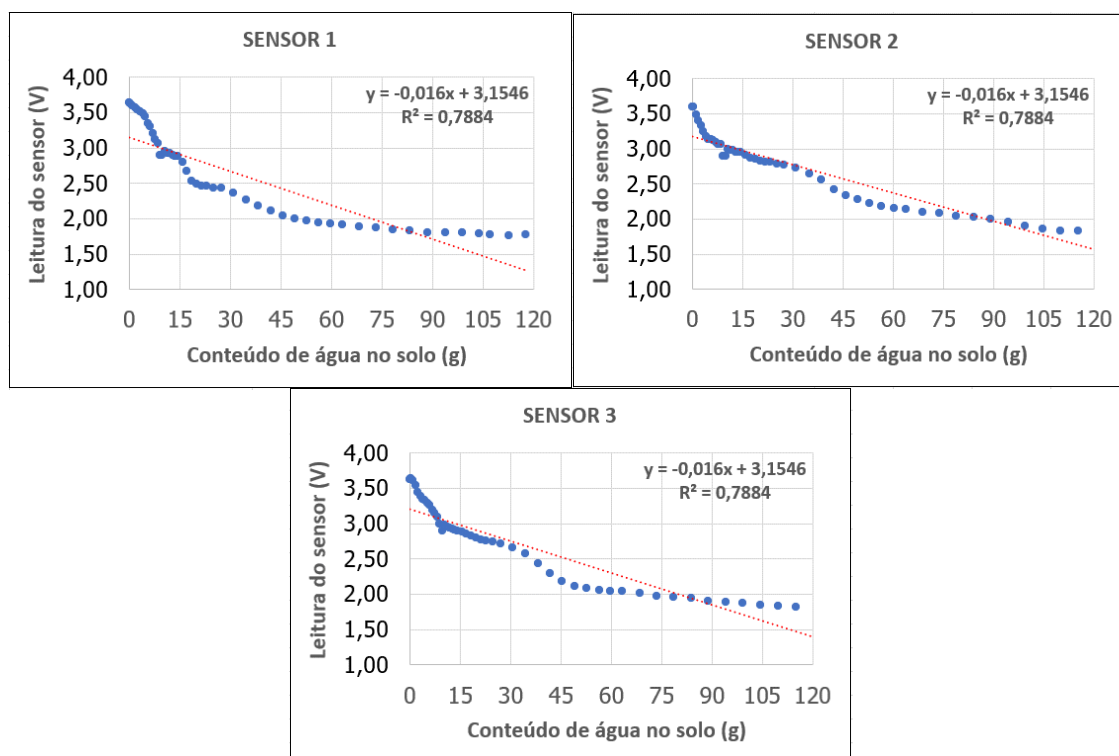


Figura 73 – Curvas de leitura dos sensores em volts vs conteúdo de água do solo em gramas

Fonte: 73 – Autoria própria

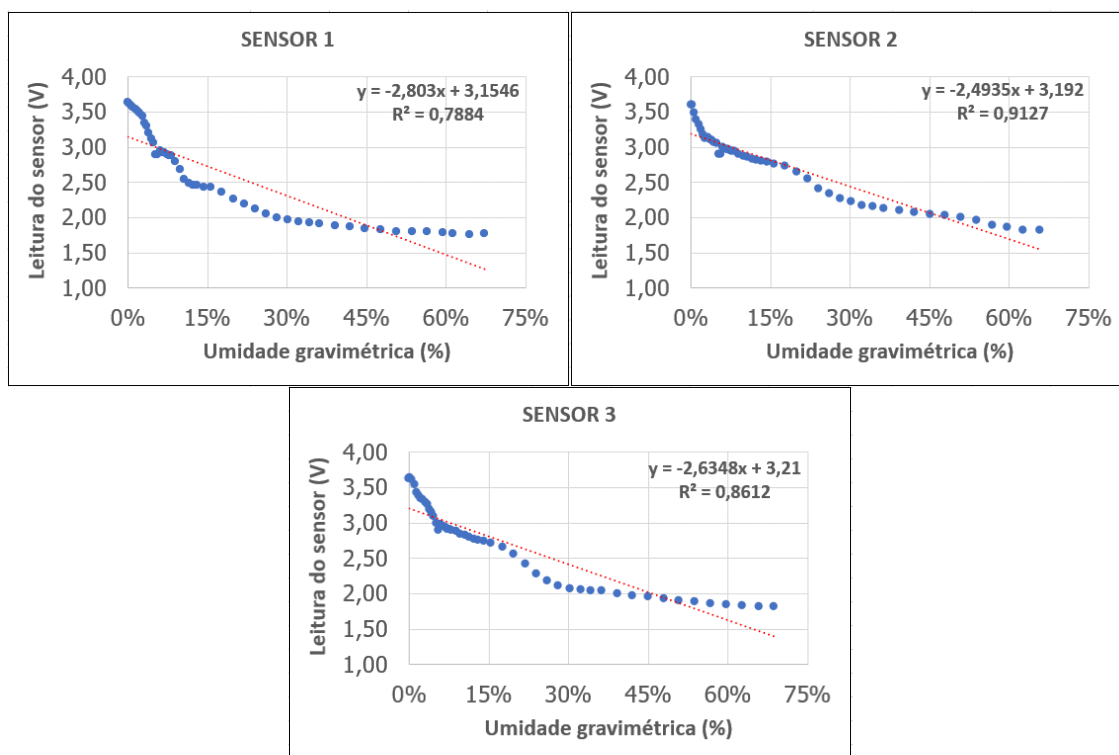


Figura 74 – Curvas de leitura dos sensores vs umidade gravimétrica percentual

Fonte: 74 – Autoria própria

ANEXO N – Resultados obtidos com sensor resistivo de umidade do solo HL-69 (tabela e gráfico)

SENSOR HL-69								
Massa Atual	Adição (teórica)	Adição (exp)	Massa Nova (teórica)	Massa Nova (exp)	Ug (%)	Leitura Sensor	Sensor (%)	Observações
107,22	-	-	-	-	0%	1023		Valores Iniciais (solo seco)
107,22	1,07	1,13	108,29	108,35	1,05%	935	-9%	
108,35	1,07	1,13	109,42	109,48	2,11%	910	-11%	
109,48	1,07	1,13	110,55	110,61	3,16%	900	-12%	
110,61	1,07	1,13	111,68	111,74	4,22%	800	-22%	
111,74	1,07	1,13	112,81	112,87	5,27%	768	-25%	
112,87	1,07	1,13	113,94	114,00	6,32%	670	-35%	
114,00	1,07	1,13	115,07	115,13	7,38%	530	-48%	
115,13	1,07	1,13	116,20	116,26	8,43%	475	-54%	
116,26	1,07	1,13	117,33	117,39	9,49%	430	-58%	
117,39	1,07	1,13	118,46	118,52	10,54%	403	-61%	
118,52	1,07	1,13	119,59	119,65	11,59%	383	-63%	
119,65	1,07	1,13	120,72	120,78	12,65%	352	-66%	
120,78	1,07	1,13	121,85	121,91	13,70%	382	-63%	
121,91	1,07	1,13	122,98	123,04	14,75%	379	-63%	
123,04	1,07	1,13	124,11	124,17	15,81%	372	-64%	
124,17	1,07	1,13	125,24	125,30	16,86%	368	-64%	
125,30	1,07	1,13	126,37	126,43	17,92%	361	-65%	
126,43	1,07	1,13	127,50	127,56	18,97%	360	-65%	
127,56	1,07	1,13	128,63	128,69	20,02%	357	-65%	
128,69	1,07	1,13	129,76	129,82	21,08%	328	-68%	
129,82	1,07	1,13	130,89	130,95	22,13%	324	-68%	
130,95	1,07	1,13	132,02	132,08	23,19%	320	-69%	
132,08	1,07	1,13	133,15	133,21	24,24%	319	-69%	
133,21	1,07	1,13	134,28	134,34	25,29%	317	-69%	
134,34	1,07	1,13	135,41	135,47	26,35%	314	-69%	
135,47	1,07	1,13	136,54	136,60	27,40%	321	-69%	
136,60	1,07	1,13	137,67	137,73	28,46%	319	-69%	
137,73	1,07	1,13	138,80	138,86	29,51%	300	-71%	
138,86	1,07	1,13	139,93	139,99	30,56%	295	-71%	
139,99	1,07	1,13	141,06	141,12	31,62%	293	-71%	
141,12	1,07	1,13	142,19	142,25	32,67%	287	-72%	
142,25	1,07	1,13	143,32	143,38	33,73%	304	-70%	
143,38	1,07	1,13	144,45	144,51	34,78%	297	-71%	
144,51	1,07	1,13	145,58	145,64	35,83%	292	-71%	
145,64	1,07	1,13	146,71	146,77	36,89%	292	-71%	
146,77	1,07	1,13	147,84	147,90	37,94%	291	-72%	
147,90	1,07	1,13	148,97	149,03	38,99%	310	-70%	
149,03	1,07	1,13	150,10	150,16	40,05%	315	-69%	
150,16	1,07	1,13	151,23	151,29	41,10%	334	-67%	
151,29	1,07	1,13	152,36	152,42	42,16%	302	-70%	
152,42	1,07	1,13	153,49	153,55	43,21%	239	-77%	
153,55	1,07	1,13	154,62	154,68	44,26%	240	-77%	
154,68	1,07	1,13	155,75	155,81	45,32%	237	-77%	
155,81	1,07	1,13	156,88	156,94	46,37%	239	-77%	
156,94	1,07	1,13	158,01	158,07	47,43%	279	-73%	
158,07	1,07	1,13	159,14	159,20	48,48%	272	-73%	
159,20	1,07	1,13	160,27	160,33	49,53%	278	-73%	
160,33	1,07	1,13	161,40	161,46	50,59%	230	-78%	
161,46	1,07	1,13	162,53	162,59	51,64%	239	-77%	
162,59	1,07	1,13	163,66	163,72	52,70%	240	-77%	
163,72	1,07	1,13	164,79	164,85	53,75%	245	-76%	
164,85	1,07	1,13	165,92	165,98	54,80%	240	-77%	
165,98	1,07	1,13	167,05	167,11	55,86%	240	-77%	
167,11	1,07	1,13	168,18	168,24	56,91%	240	-77%	
168,24	1,07	1,13	169,31	169,37	57,96%	218	-79%	Solo bastante úmido, aparentando estar saturado sem conseguir absorver mais água.
169,37	1,07	1,13	170,44	170,50	59,02%	215	-79%	Solo encharcado
170,50	1,07	1,13	171,57	171,63	60,07%	214	-79%	Solo coberto por água na porção onde está o sensor

Figura 75 - Resultados obtidos durante ensaios do sensor resistivo HL-69

Fonte: 75 – Autoria própria

O gráfico abaixo apresenta o resultado do teste obtido com o sensor resistivo de umidade do solo HL-69, o qual foi inicialmente adotado para implementação neste projeto, porém, foi substituído pelo sensor capacitivo CS12 de modo a evitar problemas relacionados à corrosão do sensor com o tempo de uso.

O gráfico é mostrado na Figura 76 e foi construído a partir do sinal amostrado do sensor por meio do conversor A/D do PIC.

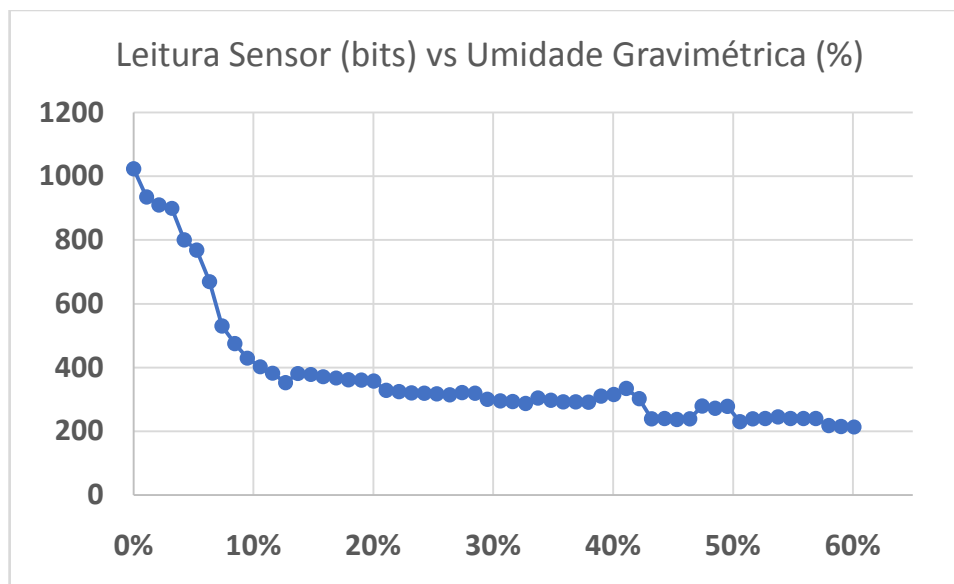


Figura 76– Curva de leitura do sensor (em bits)vs umidade gravimétrica (percentual)

Fonte: 76 – Autoria própria

A comparação da precisão do sensor resistivo HL-69 em relação ao sensor capacitivo CS12 é um pouco complicada pois o primeiro fornece um sinal analógico de saída com range de 0V a 5V, enquanto o segundo oferece um sinal que varia aproximadamente entre 1,5V e 3,5V. Apesar disso, é possível observar que o comportamento gráfico se assemelha entre os dois modelos de sensores, uma vez que o sensor resistivo também apresenta maior sensibilidade para valores menores de umidade gravimétrica do solo.

De qualquer modo, como o sensor resistivo possui dificuldades para manter suas características de medição ao longo do tempo, devido à corrosão de seus contatos, o sensor capacitivo CS12 se torna uma opção mais interessante, uma vez que não há relatos deste problema entre os usuários do mesmo, permitindo reproduzir diversos testes em diferentes momentos sem esse tipo de preocupação quanto à confiabilidade e repetibilidade das medições.

ANEXO O – Gastos com componentes eletroeletrônicos, materiais e instrumentos

A seguir são apresentadas informações referentes ao esforço financeiro empreendido para o desenvolvimento deste trabalho tanto com componentes eletroeletrônicos quanto com materiais e instrumentos gerais, permitindo avaliar a viabilidade da construção de um sistema similar. A tabela 11 apresenta os gastos essencialmente com componentes eletroeletrônicos.

COMPONENTES ELETROELETRÔNICOS	
1 MICROCONTROLADOR PIC18F4550	R\$ 32,15
1 DISPLAY LCD	R\$ 29,90
5 BOTÕES DE PULSO	R\$ 4,50
8 LEDS PARA INDICAÇÃO DE ESTADO	R\$ 1,60
1 POTENCIÔMETRO 10K LINEAR	R\$ 2,90
1 REGISTRADOR DE DESLOCAMENTO 74HC595	R\$ 3,40
2 MULTIPLEXADORES ANALÓGICOS CD4052	R\$ 3,20
1 REGULADOR DE TENSÃO	R\$ 1,90
1 DISSIPADOR DE CALOR	R\$ 3,80
1 CAPACITOR CERÂMICO MULTICAMADAS 330 nF 50 V	R\$ 0,40
1 CAPACITOR CERÂMICO MULTICAMADAS 100 nF 50 V	R\$ 0,60
1 CRISTAL OSCILADOR 8 MHz	R\$ 1,20
1 BOMBA SUBMERSÍVEL PARA AQUÁRIO 127 Vca	R\$ 55,00
3 VALVULAS SOLENOIDE 24 Vcc NORMALMENTE FECHADAS	R\$ 250,00
1 FONTE DE ALIMENTAÇÃO 3 A	R\$ 47,90
1 PLACA DE PROTOTIPAGEM ILHADA 10X15 cm	R\$ 20,00
JUMPERS, CABOS, CONEXÕES, BARRAS DE PINOS, BORNES	R\$ 30,00
TOTAL PARCIAL:	R\$ 488,45

Tabela 11 - Gastos com componentes eletroeletrônicos

Já a tabela 12 apresenta os gastos com materiais e instrumentos gerais utilizados para testes, medições, construção da base da maquete e gravação do PIC.

MATERIAIS E INSTRUMENTOS GERAIS	
CONEXÕES DE ENGATE RÁPIDO PARA VÁLVULAS	R\$ 30,00
KIT DE MICRO IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO	R\$ 69,90
1 RESERVATÓRIO ACRÍLICO	R\$ 40,00
1 BALANÇA DIGITAL	R\$ 75,00
1 MULTÍMETRO DIGITAL	R\$ 100,00
1 GRAVADOR DE PIC	R\$ 120,00
3 BÉQUERES DE VIDRO BOROSSILICATO BERZELIUS 120 ml	R\$ 42,00
1 BASE CONFECCIONADA EM MDF E EPS	R\$ 10,00
TOTAL PARCIAL:	R\$ 486,90

Tabela 12 – Gastos com materiais e instrumentos gerais

Por fim, observa-se um esforço financeiro de aproximadamente mil reais para a construção do projeto proposto.