



**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE CONTROLO AUTOMÁTICO DA REGA
HIDROPÓNICA INTEGRANDO GSM**

Trabalho de Licenciatura

Simbe, Miguel António

Supervisor: Msc. Joaquim Branco, Eng.º

(UEM-Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Electrotécnica)

Maputo, Outubro de 2024



**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE CONTROLO AUTOMÁTICO DA REGA
HIDROPÓNICA INTEGRANDO GSM**

Trabalho de Licenciatura

Simbe, Miguel António

Supervisor: Msc. Joaquim Branco, Eng.º

(UEM-Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Electrotécnica)

Maputo, Outubro de 2024

Simbe, Miguel António

**SISTEMA DE CONTROLO AUTOMÁTICO DA REGA
HIDROPÓNICA INTEGRANDO GSM**

Trabalho de Licenciatura apresentado ao Departamento de Engenharia Electrotécnica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane- com requisito parcial na obtenção de grau de Licenciatura em Engenharia Electrónica.

Supervisor: **Msc. Joaquim Branco, Eng.º**

(UEM-Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Electrotécnica)

Anexo 8

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO TL
UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Declaro que o estudante **Miguel António Simbe** entregou no dia __ / __ / as cópias do relatório do seu Trabalho da Disciplina de Trabalho de Licenciatura com a referência: _____
intitulado: Sistema de controlo automático de rega hidropónica integrando GSM.

Maputo, ____ de _____ de 20____

O Chefe de Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Miguel António Simbe**, declaro por minha honra, que o presente trabalho académico foi elaborado por mim próprio. Não se recorreu a quaisquer outras fontes, para além das indicadas, e todas as formulações e conceitos usados, quer adoptados literalmente ou adaptados a partir das fontes impressas, não impressas ou na internet, se encontram adequadamente identificados e citados, com observância das convenções do trabalho académico em vigor.

Declaro também que este Relatório de Trabalho de Licenciatura, não foi apresentado, para efeitos de avaliação, a qualquer outra entidade ou instituição.

Declaro, finalmente, encontrar-me ciente de que a inclusão, neste texto, de qualquer falsa declaração terá consequências legais.

Maputo, aos ___/___/2024

(**Miguel António Simbe**)



Anexo 5

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
TERMO DE ATRIBUIÇÃO DE TEMA DO TRABALHO DE
LICENCIATURA

REFERÊNCIA DO TEMA:	
---------------------	--

Data:	04.04.2024
-------	------------

1. TÍTULO DO TEMA

<i>Sistema de controlo automático de rega hidropónica integrando a GSM</i>
--

2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO TRABALHO A DESENVOLVER

2.1. Definição do Problema

Há alguns anos, o governo de Moçambique definiu a agricultura como a base do desenvolvimento nacional, devido ao potencial do território moçambicano em termos de fertilidade e capacidade de produção. Diversas políticas e projectos foram implementados para maximizar a produção agrícola, com foco nas zonas rurais. Com o tempo e devido ao aumento da densidade populacional, as áreas que outrora serviam para o cultivo passaram a serem construídas edifícios e conseqüentemente a serem habitadas reduzindo significativamente as áreas de cultivo, o que se tornou um problema a ser resolvido.

Este facto levou a necessidade crescente de se cultivar pequenas hortas em algumas zonas urbanas. Como então seria possível cultivar em zonas praticamente sem solo suficiente para o efeito?

Uma solução para esse problema é a utilização da hidroponia, uma técnica de cultivo que não requer solo para o desenvolvimento das plantas. Em vez disso, os nutrientes são directamente fornecidos às raízes das plantas por meio de uma solução nutritiva. Essa solução é composta por

sais e bases e deve atender a critérios de qualidade específicos, como o nível de pH, condutividade eléctrica, nível de oxigénio e temperatura, para garantir a eficácia no crescimento das plantas.

Em muitas áreas urbanas de Moçambique, a hidroponia tem se tornado cada vez mais popular em pequenas e médias escalas, tanto para consumo familiar quanto para comercialização. Muitos desses agricultores, se não todos, são obrigados a preparar os nutrientes manualmente, utilizando equipamentos electrónicos para medir parâmetros como pH, condutividade eléctrica e temperatura. Esse processo pode ser extremamente desafiador quando feito manualmente, especialmente na regulação da solução final. A questão principal é:

Como garantir que a solução final mantenha todos os parâmetros dentro dos níveis recomendados?

2.2. Relevância da pesquisa

Na visita feita a Mozaponic (Empresa voltada ao cultivo hidropónico, localizada na cidade de Maputo, no bairro de Zimpeto) em setembro de 2022, constatou-se que os cultivos hidropónicos exigem que os produtores passem muito tempo no local de cultivo, realizando cálculos manuais e utilizando equipamentos especializados para garantir a quantidade e a qualidade ideal dos nutrientes na solução nutritiva. Todo este processo predominantemente manual, é susceptível a erros, como o excesso ou deficiência de parâmetros de qualidade, como o nível de pH e da condutividade Eléctrica.

A importância desta pesquisa ou projecto está na necessidade de automatizar completamente o controle da rega. Isso inclui monitorar o nível da solução no reservatório, verificar o nível de pH na solução final e medir a condutividade eléctrica. Caso algum desses parâmetros esteja fora do intervalo recomendado, o sistema deve ajustar automaticamente os parâmetros para manter a qualidade desejada da solução nutritiva. Além disso, o sistema deve definir o tempo e a quantidade de rega adequada para cada planta.

Em resumo, o sistema garante a entrega precisa e estável dos nutrientes, reduzindo o esforço

humano. A automação desse processo pode aumentar a produtividade, maximizar os lucros (especialmente na comercialização) e diminuir os custos de produção. A inovação principal da solução proposta é a capacidade de controlar o sistema remotamente através de uma interface web, aumentando a autonomia e eficiência do sistema.

2.3. Objectivos

2.3.1. Objectivo Geral

- Desenvolver um sistema de controlo automático da rega hidropónica utilizando o microcontrolador ESP32.

2.3.2. Objectivos Específicos

- Estudar o funcionamento do sistema hidropónico convencional;
- Definir as variáveis a serem automatizadas;
- Desenvolver o algoritmo (utilizando um fluxograma) de todo o processo de automatização;
- Fazer a respetiva programação segundo o algoritmo supracitada no ponto anterior;
- Construir o protótipo simulando um cultivo hidropónico;

2.5 Metodologia

O processo de desenvolvimento do projecto em curso vai obedecer 3 fases que são:

2.3.1. Fase Conceptual

- Formulação do problema de investigação;
- Revisão de literatura ou bibliográfica;
- Listar os objectivos (gerais bem como específicos).

2.3.2. Pesquisa exploratória

- Compreender o processo de cultivo hidropónico;

2.3.3. Fase Experimental

- Colecta de dados;
- Processar os dados;
- Análise de dados;
- Interpretação os dados;

3. LOCAL DE REALIZAÇÃO

Mozahydroponic- Zimpeto, Maputo-Moçambique

4. SUPERVISORES

	Nome	Assinatura
Da UEM		
Da Instituição		

5. DATAS CHAVE

Entrega do Tema		Previsão da Conclusão	
-----------------	--	-----------------------	--

Maputo, ___ de _____ de _____

Chefe da comissão científica

Visto do Chefe do Departamento

Declaro que recebi o tema do Trabalho de Licenciatura na data acima indicada

Assinatura

Nome: _____

ANEXO 6.

ACTA DE ENCONTROS REGULARES

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS COM O SUPERVISOR

REFERÊNCIA DO TEMA:	
---------------------	--

DATA:	05/04/2024
-------	------------

1. PROPOSTA DE TEMA DO PROJECTO

Este foi o primeiro encontro com o supervisor, durante o qual apresentei a proposta do projecto a ser desenvolvido. Tivemos a oportunidade de discutir a proposta, analisando a relevância da pesquisa e o impacto social do sistema proposto. Após uma análise detalhada, o tema do projecto, "Sistema de Controlo Automático de Rega Hidropónica Integrando GSM", foi aprovado por unanimidade e será submetido à comissão científica de DEEL.

O supervisor também sugeriu aprimorar a definição do tema para esclarecer melhor os aspectos que serão abordados na construção do protótipo. Além disso, recebi recomendações sobre directrizes estratégicas de pesquisa que deveriam ser seguidas para alcançar os objectivos do projecto.

DATA DO PROXIMO ENCONTRO:	30/05/2024
---------------------------	------------

2. DEFINICAO DOS OBJECTIVOS

Durante este encontro, definimos o objectivo geral e os objectivos específicos do projecto. Fui incentivado a começar o desenvolvimento do relatório e do protótipo, com a recomendação de enviar o primeiro capítulo após 5 semanas.

ANEXO 6.
ACTA DE ENCONTROS REGULARES
UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS COM O SUPERVISOR

DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO:	06/07/2024
---------------------------	------------

3. ANÁLISE DA REVISÃO DA LITERATURA

O encontro serviu para revisar o progresso do projecto, com foco nas pesquisas em andamento. O supervisor discutiu as referências bibliográficas e as orientações para a citação correcta.

Inicialmente, o Engenheiro abordou o conteúdo do relatório e sugeriu que, sendo um trabalho de licenciatura, não fosse necessário se aprofundar excessivamente no histórico ou no funcionamento da hidropónia tradicional. Em vez disso, recomendou que o foco fosse direccionado ao microcontrolador ESP32, que é o componente central da automatização.

O supervisor também aconselhou que eu enviasse o relatório após realizar as alterações sugeridas e continuasse com o desenvolvimento do terceiro capítulo. Neste capítulo, sugeriu a inclusão da descrição detalhada da solução do projecto, sua constituição, além de fluxogramas, equações e o diagrama de blocos do sistema.

DATA DO PROXIMO ENCONTRO:	02/08/2024
---------------------------	------------

4. DESENVOLVIMENTO DE PROJECTO E ANALISE DOS RESULTADOS

Foi realizada a revisão do capítulo 4, que aborda o desenvolvimento do projecto, incluindo o diagrama de blocos, o algoritmo, o fluxograma e o código de programação. O supervisor comentou sobre o progresso na construção do protótipo, tanto na parte electrónica quanto na estrutura que suportará as plantas.

O supervisor também forneceu orientações sobre a organização das tabelas e gráficos.

Especificamente, recomendou que as tabelas de preços incluíssem uma margem de erro para acomodar futuras variações nos preços dos componentes, de modo a minimizar o impacto significativo sobre a aquisição dos materiais.

DATA DO PROXIMO ENCONTRO:	10/10/2024
---------------------------	------------

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Foi feita uma análise geral dos resultados obtidos após a execução do projecto, verificou-se que o sistema fornece os resultados esperados conforme projectado inicialmente. Também foi neste encontro, que se alistou todas dificuldades e limitações encontrados ao longo do projecto.

O supervisor também orientou a leitura de todo o trabalho e correcção de qualquer anomalia que for encontrada e assim que se terminasse toda esta verificação, o trabalho seja reenviado novamente para que o docente (supervisor) faça a análise e verificação final.

DATA DO ÚLTIMO ENCONTRO:	17/10/2024
--------------------------	------------

5. ANÁLISE FINAL E DEFINIÇÃO DO DIA DA SUBMISSÃO DO TRABALHO

Depois de se cumprir com todas recomendações deixadas pelo supervisor no encontro anterior, chegou o dia em que se definiu que fosse possivelmente o último encontro relacionado ao presente projecto TL, a menos que haja motivos suficientes para um outro encontro.

Neste encontro, depois de todas verificações definiu-se que o trabalho fosse submetido junto da Secretaria de DEEL no dia seguinte, ou seja, sexta-feira de 18/10/2024.

ANEXO 9.
FICHA RESUMO DO TL
UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
FICHA-RESUMO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Referência do tema: _____

Título do tema: Sistema de controlo automático de rega hidropónica integrando GSM

Nome do Autor: Miguel António Simbe

Supervisores: Joaquim Branco, Eng^o

RESUMO

O cultivo hidropónico é uma técnica de plantio sem solo amplamente utilizada em todo o mundo. Essa prática oferece diversas vantagens para pequenos produtores em comparação ao cultivo tradicional. Contudo, uma desvantagem significativa é a falta de soluções tecnológicas acessíveis que auxiliem no monitoramento e controle das produções. Com o intuito de contribuir para o sector, este projecto tem como objectivo projectar e implementar um sistema de controle automatizado que permita a irrigação no momento ideal, com parâmetros adequados, e mínima intervenção humana. Os parâmetros a serem monitorados incluem: Potencial Hidrogeniônico (pH), temperatura, humidade do ar e condutividade eléctrica (CE) da água, visando auxiliar na tomada de decisões, reduzir custos e aumentar a produtividade.

O protótipo do sistema construído inclui diversos componentes electrónicos e não electrónicos, como o microcontrolador ESP32, relés, jumpers, sensor de pH, sensor de nível, canos de PVC, baldes (usados como reservatórios) e mangueiras.

O design do protótipo foi desenvolvido pelo autor do projecto. O algoritmo utilizado segue um fluxograma de lógica simples, fácil de implementar. A linguagem de programação aplicada é de alto nível, sendo o C, usada no ESP32.

A principal inovação deste projecto é a integração de um módulo GSM, que permite a comunicação remota com o usuário. O sistema notifica o usuário sempre que os parâmetros relevantes atingirem níveis críticos, ou seja, se os valores de pH, nível da solução no reservatório ou a temperatura da solução estiverem fora do intervalo desejado, o sistema envia uma notificação para facilitar a tomada de decisão.

Outra inovação significativa é a integração do microcontrolador ESP32 com o Microsoft Excel. O ESP32 é reconhecido como um dispositivo no Excel, permitindo a exibição dos valores lidos directamente na plataforma e possibilitando a visualização do comportamento dos parâmetros por meio de gráficos.

Palavras Chaves: Rega, PH, Sensor, Solução, ESP32, GSM, Hidroponia e Monitoramento.

Abstract

Hydroponic cultivation is a soilless planting technique used around the world. It has numerous advantages for small producers when compared to traditional cultivation, however, a major disadvantage is the lack of low-cost technological solutions capable of assisting in monitoring and controlling production. In this way, aiming to collaborate with the sector, this project aims to design and implement an automatic control system that allows irrigation to be carried out at the appropriate time with ideal parameters with minimal human intervention. The parameters to be monitored: Hydrogen Potential (pH), temperature, humidity, air and Electrical Conductivity (EC) of water, in order to assist in decision making, reducing expenses and contributing to increased productivity. This would be the most ideal case, however, due to the difficulties encountered during the execution of the project, such as the difficulty in obtaining certain essential components such as: electrical conductivity sensor (unavailable on the national market). To overcome these situations, some components were discarded from the project, despite being important, and others were replaced. The prototype built for the system features several electronic and non-electronic components such as: ESP32 (which was the microcontroller used), relays, jumpers, PH sensor, level sensor, PVC pipes, buckets (used as reservoirs), hoses, etc.

The prototype design was prepared by the project author. The algorithm used is of the flowchart type, presenting very simple and easy-to-implement logic. The programming language used is high level applied to ESP32 (C language).

The great innovation in this project is the addition of the GSM component that allows communication with the user remotely. The user will be notified whenever the relevant system parameters are in critical state, i.e. if the PH values, solution level in the reservoir as well as the solution temperature are outside the desired range, the user will receive notification from the system which will help in decision making.

Another great innovation is the fact that it associates the ESP32 microcontroller with Microsoft Excel. The ESP will be recognized in Excel as a device, which makes it possible to display the values read by the ESP in Excel, and it is also possible to see the behavior of the parameter variations through graphs displayed in Excel.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha querida mãe, Lurdes António Vaetim

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, resiliência para completar este ciclo. Agradeço a minha mãe Lurdes Valentim, pela força que ela me concedeu desde o primeiro dia de aulas, até a o dia de hoje, por prover condições financeiras e motivacionais para se levar ao cabo a minha carreira acadêmica. Com igual fervor dedico também ao meu irmão que se tornou um Pai, por sempre ter sido um exemplo no mundo das academias e pelo grande suporte financeiro em todo este longo percurso do curso.

Agradeço as minhas irmãs, mulheres que sempre torceram pelo meu sucesso, que me ajudaram também de algum lado, com algum recurso financeiro.

Agradeço ao meu Supervisor Joaquim Branco Engo, que foi desde o início do trabalho um bom orientador, e por outro, como docente. Agradeço por toda orientação e incentivo em investir na minha carreira profissional.

E a todos meus amigos e colegas dentro e fora da Academia, que contribuíram, com motivações e suporte, meu muito obrigado. E por fim, não de longe menos importante, agradeço à comunidade acadêmica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, especialmente o meu corpo docente que foram um pilar no seio da minha formação.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTA DE TABELAS.....	II
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	III
Capítulo I.....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Definição do Problema.....	3
1.3. Relevância do projecto	4
1.4. Objectivos	5
1.4.1. Objectivo Geral	5
1.4.2. Objectivos Específicos.....	5
1.5. Metodologia.....	6
1.5.1. Fase Conceptual	6
1.5.2. Pesquisa exploratória	6
1.5.3. Fase Experimental.....	6
1.6. Tipo de Pesquisa	6
1.6.1. Quanto à abordagem	6
1.6.2. Quanto à Natureza.....	6
1.6.3. Quanto à técnica aplicada	7
1.7. Procedimentos e aplicativos usados no trabalho.....	7
1.7.1. Fase tecnológica.....	7
1.8. Estrutura do Trabalho	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1. Conceitos Gerais	10
2.2. Vantagens e Desvantagens do cultivo hidropónico.....	12
2.2.1. As principais vantagens são:.....	12
2.2.2. As principais desvantagens:	12
2.3. Sistemas Hidropónicos.....	13
2.3.1. Sistema NFT	13
2.3.2. Solução Nutritiva	14
Tabela 2.1.: Sais fertilizantes usados em hidroponia.....	16
Tabela 2.2. Níveis de condutividade eléctrica por cultura	17

2.3.3.	Método de Controlo Tradicional do Sistema NFT.....	18
2.3.4.	Ferramenta para o Sistema de Controlo.....	19
2.3.4.1.1.	Composição do ESP-32.....	21
2.3.4.1.2.	Diagrama de Blocos De Composição de ESP32.....	23
2.3.5.	Sensor.....	27
2.3.6.	O Sensor de pH.....	28
2.3.6.5.	Parâmetros Operacionais.....	32
2.3.7.	Sensor de nível.....	32
2.3.8.	Sensor de temperatura.....	34
2.3.9.	Sensor de condutividade Eléctrica.....	37
2.3.10.	Válvula solenóide.....	39
2.3.11.	Módulo GSM.....	40
2.3.12.	Swiith (chave on/off).....	41
2.3.13.	Modulo Relé.....	42
2.3.14.	Protoboard.....	43
2.3.15.	Power supply (Fonte de alimentação).....	44
2.4.	Construção do protótipo.....	45
2.5.	Diagrama de Processo e Instrumentação do PID.....	45
3.	DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO.....	48
3.1.	Descrição funcional do sistema.....	48
3.1.1.	Botão Liga/Desliga.....	Error! Bookmark not defined.
3.1.2.	Processamento.....	49
3.1.3.	Apresentação dos resultados.....	50
3.2.	Esquemas.....	51
3.2.1.	Esquema funcional do sistema.....	51
3.2.2.	Esquema Padrão.....	52
3.3.	Algoritmo.....	55
3.3.1.	Fluxograma.....	55
3.3.2.	Codificação.....	56
3.3.3.	Exibição de dados no Excel.....	58
3.3.4.	Custos Materiais.....	60
4.	Análise e discussão dos dados.....	61
5.	Considerações finais e Recomendações.....	62

5.1. Conclusões	62
5.2. Limitações e Constrangimentos.....	63
5.3. Recomendações.....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1: Horta Hidropónica	21
Figura 2. 2: Arranjo típico dos sistemas DFT a esquerda e NFT a direita.	22
Figura 2. 3: ESP32	28
Figura 2. 4: Composição externa do esp-32	29
Figura 2. 5: Legenda de portas de ESP	30
Figura 2. 6: Composição interna de ESP32	31
Figura 2. 7: Índice de pH conforme valor de referência.	35
Figura 2. 8: Sensor de pH Arduíno + Módulo de Leitura.	36
Figura 2. 9: Circuito do Sensor de pH	38
Figura 2. 10: sensor de nível.	40
Figura 2. 11: Circuito integrado LM35 e sensor de temperatura.....	41
Figura 2. 12: Equação linear de sensor de temperatura LM35	42
Figura 2. 13: Sensor de C.E.	44
Figura 2. 14: Circuito interno de sensor de condutividade.	44
Figura 2. 15: Electroválvula.	46
Figura 2. 16: modulo GSM.	47
Figura 2. 17: Botão liga/desliga	48
Figura 2. 18: Modulo rele de 1 canal.	49
Figura 2. 19: Protoboard.	50
Figura 2. 20: Diagrama de Blocos de Fonte de Conversão AC/DC. (Testtech).	50
Figura 2. 21: Diagrama PID.	52

Figura 2. 22: Diagrama de blocos do sistema.	52
Figura 2. 23: Interface gráfica do sistema.....	53
Figura 3. 1: Diagrama de bloco de funcionamento de sistema.....	55
Figura 3. 2: esquema funcional do sistema. fonte: Aatoria Própria	57
Figura 3. 3: Esquema padrão do circuito. fonte:Autoria Própria.....	58
Figura 3. 4: LCD Display	59
Figura 3. 5: Minibomba 12V	60
Figura 3. 6: Simulação. Tela da planilha de aquisição mostrando a variação de PH num intervalo de tempo.	64
Figura 3. 7: Simulação. O gráfico mostra o comportamento de PH apos ser adicionado água na solução nutritiva, baixando o valor de PH.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1: Sais fertilizantes usados em hidroponia	24
Tabela 2. 2: Níveis de condutividade eléctrica por cultura	25
Tabela 2. 3: Ferramentas usados na automação do processo.	27
Tabela 2. 4: parâmetros a serem observados	39
Tabela 2.5: Parâmetros de funcionamento do sensor (Fonte: Atlas Cientific).	43
Tabela 2.6: parâmetros de funcionamento do sensor de condutividade eléctrica.	45
Tabela 2. 7: Componentes de bancada de teste.	51
Tabela 3. 1: Componentes do Protótipo.	65

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

CO₂-Dióxido de Carbono

ECC-Criptografia de curva elíptica

EC-Condutividade eléctrica

GPIO-*General Purpose Input/Output*

NFT-*Nutrition Film Technique*

PH-sensor de potencial hidroeléctrico

PID-Diagrama de processo e instrumentação

QFN-*Quad-Flat. No-leads*

RNG-Gerador de número aleatório

SN-Solução Nutritiva

ULP-Ultrabaixa Potência

Capítulo I

1.1.Introdução

Em 2017, uma em cada nove pessoas no mundo não teve acesso a comida suficiente para levar uma vida saudável, o que corresponde a aproximadamente 821 milhões de pessoas sem alimentação de qualidade (FAO, 2018). Além disso, estimativas indicam que cerca de 10% da população mundial naquele ano, equivalente a 770 milhões de pessoas, enfrentou insegurança alimentar grave (FAO, 2018). Esse problema de insegurança alimentar é, em grande parte, resultado da falta de acesso das classes menos favorecidas a alimentos em quantidade e qualidade suficientes para uma dieta saudável e balanceada. As previsões para a próxima década indicam que o crescimento populacional, a expansão das cidades, o aumento do consumo precipita, as restrições ao uso da terra e os problemas climáticos agravarão ainda mais a dificuldade de atender às necessidades alimentares da população mundial, resultando em uma crescente demanda por alimentos (FAO, 2018).

A produção Hidropónica surge como uma alternativa viável para atender a essa demanda global por alimentos, devido ao uso de insumos de baixo custo, como água e solução nutritiva, à redução da necessidade de espaço para cultivo e ao aumento do valor nutricional dos vegetais produzidos. Um exemplo é o cultivo de hortaliças por meio da hidroponia, uma técnica que vem ganhando adeptos tanto no exterior quanto em Moçambique há vários anos. Suas vantagens em relação ao cultivo tradicional no solo incluem facilidade de produção, independência das condições climáticas e a possibilidade de ser combinada com outras formas de produção, como a aquaponia, que associa o cultivo de vegetais ao de peixes.

Este trabalho tem como objectivo propor um sistema de monitoramento em tempo real para cultivo hidropónico, utilizando uma rede de sensores sem fio (RSSF) para colectar dados sobre temperatura, humidade do ar, humidade do solo, condutividade eléctrica (CE) da água, pH e luminosidade.

A principal inovação deste projecto é a integração de um módulo GSM, que possibilita a comunicação remota com o usuário.

O sistema notifica o usuário sempre que os parâmetros monitorados atingem níveis críticos, como valores de pH, nível da solução no reservatório ou temperatura fora do intervalo desejado, facilitando a tomada de decisões.

Outra inovação importante é a conexão do microcontrolador ESP32 ao Microsoft Excel. O ESP32 é reconhecido como um dispositivo no Excel, permitindo a exibição dos dados coletados diretamente na planilha, além de possibilitar a visualização do comportamento dos parâmetros por meio de gráficos no próprio Excel.

1.2. Definição do Problema

Há alguns anos, o governo de Moçambique definiu a agricultura como a base do desenvolvimento nacional, devido ao potencial do território moçambicano em termos de fertilidade e capacidade de produção. Diversas políticas e projectos foram implementados para maximizar a produção agrícola, com foco nas zonas rurais. Com o tempo e devido ao aumento da densidade populacional, as áreas que outrora serviam para o cultivo passaram a serem construídas edifícios e conseqüentemente a serem habitadas reduzindo significativamente as áreas de cultivo, o que se tornou um problema a ser resolvido.

Este facto levou a necessidade crescente de se cultivar pequenas hortas em algumas zonas urbanas. Como então seria possível cultivar em zonas praticamente sem solo suficiente para o efeito?

Esse problema pode ser resolvido com a implementação da hidroponia, uma técnica de cultivo que não depende do solo para o desenvolvimento das plantas. Nessa técnica, os nutrientes necessários para o crescimento das plantas são directamente aplicados em suas raízes. No entanto, esses nutrientes são elaborados a partir de sais e bases e devem obedecer a critérios rigorosos de qualidade, como níveis adequados de pH, condutividade eléctrica, oxigénio e temperatura, para que a solução seja eficaz no desenvolvimento das plantas.

Em muitas áreas urbanas de Moçambique, a hidroponia vem ganhando espaço, sendo praticada em pequena e média escala, tanto para o consumo familiar quanto para comercialização. No entanto, a maioria desses agricultores, se não todos, prepara os nutrientes manualmente, utilizando equipamentos electrónicos para medir parâmetros como pH, condutividade eléctrica e temperatura.

Esse processo, quando realizado manualmente, pode ser extremamente desafiador, especialmente na hora de ajustar a solução final. Assim, a grande questão que surge é:

Como garantir que a solução final atenda a todos os parâmetros recomendados de forma eficiente?

1.3.Relevância do projecto

Na visita feita a Mozaponic (Empresa voltada ao cultivo hidropónico, localizada na cidade de Maputo, no bairro de zimpeto) em setembro de 2022, constatou-se que os cultivos hidropónicos exigem que os produtores passem muito tempo no local de cultivo, realizando cálculos manuais e utilizando equipamentos especializados para garantir a quantidade e a qualidade ideal dos nutrientes na solução nutritiva. Todo este processo predominantemente manual, é susceptível a erros, como o excesso ou deficiência de parâmetros de qualidade, como o nível de pH e da condutividade Elétrica.

A importância deste sistema está em auxiliar o produtor hidropónico a melhorar seus cultivos por meio do controle contínuo de todas as variáveis envolvidas no processo. Ele gera um registro que, além de otimizar a produção actual, permite a colecta de dados históricos, ajudando a aprimorar as produções futuras.

Como os sistemas hidropónicos consistem basicamente em nutrir as plantas directamente a partir de um reservatório, o produtor precisa passar muito tempo no local de cultivo realizando cálculos manuais e utilizando aparelhos específicos para garantir a quantidade e qualidade ideais dos nutrientes. No entanto, devido à dependência quase total da intervenção humana, o processo se torna mais susceptível a falhas, como excesso ou falta de nutrientes e desequilíbrios no nível de pH, o que pode comprometer a qualidade do cultivo.

Com a automação, o sistema permite um controle total do que a planta está recebendo, possibilitando ajustar ou corrigir a adição de nutrientes conforme necessário. Isso garante a nutrição adequada, com níveis de pH estáveis, reduzindo tanto o esforço humano quanto os riscos de erros mencionados anteriormente.

Além disso, a automação pode aumentar a produtividade, maximizar os lucros (no caso de cultivos comerciais) e reduzir os custos operacionais, tornando o processo mais eficiente e sustentável.

1.4.Objectivos

1.4.1. Objectivo Geral

- Desenvolver um sistema de controlo automático da rega hidropónica utilizando o microcontrolador ESP32;

1.4.2. Objectivos Específicos

- Estudar o funcionamento do sistema hidropónico convencional;
- Definir as variáveis a serem automatizadas;
- Desenvolver o algoritmo (fluxograma) de todo o processo de automatização;
- Fazer a respetiva programação segundo o algoritmo supracitada no ponto anterior;
- Construir o protótipo simulando um cultivo hidropónico;

1.5. Metodologia

O processo de desenvolvimento do projecto em curso vai obedecer 3 fases que são:

1.5.1. Fase Conceptual

- Formulação do problema de investigação;
- Revisão de literatura bibliográfica;
- Listar os objectivos (geral bem como específicos).

1.5.2. Pesquisa exploratória

- Compreender o processo de cultivo hidropónico e definir os parâmetros a serem automatizados;

1.5.3. Fase Experimental

- Colecta de dados;
- Processar os dados;
- Análise de dados;
- Interpretação dos dados;

1.6. Tipo de Pesquisa

A Metodologia científica, aborda as principais regras de pesquisa, esta fornece as técnicas, os instrumentos e o caminho para o alcance dos objectivos. Existem diversas classificações para uma pesquisa científica, por isso, importa elucidar sobre o enquadramento deste trabalho.

1.6.1. Quanto à abordagem

O presente trabalho classifica-se em pesquisa qualitativa, pois o mesmo visa descrever o problema definido sem recorrer a dados estatísticos como o centro do processo de análise do problema.

1.6.2. Quanto à Natureza

Quanto à sua natureza, constitui uma pesquisa aplicada pois visa resolver um problema específico enfrentado pela sociedade e pelos produtores de hidroponia.

1.6.3. Quanto à técnica aplicada

Quanto a técnica usada, para aplicação do projecto, têm o uso das duas técnicas a documental e a bibliográfica, para sua elaboração serão consultados manuais, livros, websites, artigos, legislação aplicável ao tema, documentos escritos bem como visita a um posto de abastecimento de água.

1.7.Procedimentos e aplicativos usados no trabalho

O projecto inicia praticamente com o desenho geral do sistema, aquisição do material para construção do protótipo, a simulação e os testes. Sendo assim abaixo seguem-se os procedimentos que serão seguidos para o desenvolvimento do sistema:

- a) Levantamento das necessidades e requisitos do Sistema;
- b) Especificação e Selecção dos componentes necessários para a construção do Dispositivo;
- c) Desenhar do Esquema Eléctrico;
- d) Configuração do GSM para a recepção das notificações;
- e) Protótipo do dispositivo;
- f) Calibração dos sensores, testes e ajustes.

O circuito eletrónico é desenhado e simulado pelo Aplicativo Proteus da Labcenter Electronics na versão 8.12.

A programação dos Microcontroladores é usada a linguagem de programação C+ e é feita usando o ambiente Arduíno IDE Versão 1.8.19;

1.7.1. Fase tecnológica

1.7.1.1. Subfase: Lógica

• Desenvolvimento do algoritmo:

✓ **Linguagem de programação:** o uso da plataforma ou ambiente Arduino;

Procedimentos para a criação e a interligação com a Plataforma:

- Utilizar a API ou bibliotecas disponíveis para o NodeMCU 8266 WiFi para enviar os dados coletados para o canal do ThingSpeak.
- Utilizar a LCD Display para visualizar e analisar os dados em tempo real, bem como para gerar relatórios.

1.7.1.2. Subfase: Física

- Construção de um protótipo:

✓ **Linguagem de programação:** C;

✓ **As principais componentes:** Microcontrolador Node MCU ESP8266 WiFi & Sensores de Medidores de fluxo YF-S201

Procedimentos para a interligação das componentes:

Microcontrolador NodeMCU 8266 WiFi:

- Conectar os sensores de fluxo YF-S201 e a válvula solenóide aos pinos de entrada/saída do microcontrolador, conforme especificações técnicas;
- Utilizar as bibliotecas ou códigos específicos para configurar as portas GPIO (entrada/saída digital) do microcontrolador para interagir com os sensores e a válvula.

O Sensores de Níveis:

- Conectar os sensores aos pinos de entrada/saída do microcontrolador NodeMCU 8266 WiFi.
- Utilizar os pulsos gerados pelos sensores de fluxo para medir a vazão de água.

A Válvula Solenoide e Módulo de Relé:

- Conectar a válvula solenoide ao módulo de relé de um canal e, em seguida, conecte o módulo de relé ao microcontrolador NodeMCU 8266 WiFi.
- Usar o microcontrolador para controlar o módulo de relé, que por sua vez aciona a válvula solenoide, permitindo a interrupção ou fluxo da água conforme necessário.

1.8.Estrutura do Trabalho

Este trabalho é apresentado em 5 capítulos, e a sua descrição é apresentado abaixo:

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO:

Este capítulo apresenta o tema do estudo, os objectivos que se pretende atingir, a descrição do problema em análise, a relevância da solução para sua resolução, e as metodologias propostas para o desenvolvimento da solução.

CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA:

Neste capítulo, são discutidos os conceitos, vantagens e desvantagens da hidroponia, bem como dos componentes utilizados para a automação do sistema. A descrição é fundamentada nas referências bibliográficas citadas ao longo do texto. Além disso, é feita uma análise detalhada dos componentes essenciais, como sensores, actuadores, entre outros.

CAPÍTULO III – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO:

Neste capítulo, são apresentados todos os requisitos funcionais do projecto, incluindo a representação esquemática do sistema por meio de fluxogramas, diagramas de blocos e equações. Também são descritas as etapas de funcionamento da solução e o princípio de operação do sistema, detalhando cada processo de entrada, processamento e saída.

CAPÍTULO IV – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS:

Com base nas simulações realizadas, este capítulo apresenta os resultados obtidos para cada variável de saída, associadas aos actuadores correspondentes. Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos, demonstrando a variação de parâmetros como pH e temperatura, além da exibição do tempo de irrigação em cada seção.

CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Chegado ao fim do desenvolvimento do projecto, neste capítulo são feitas considerações finais, onde são deixadas algumas conclusões relacionados com aspectos relevantes do trabalho desde a fase de pesquisas bibliográficas até a implementação do projecto. Também são alistadas principais limitações e constrangimentos que se verificaram durante o trabalho e por fim, deixa-se algumas recomendações do que pode ser feito futuramente visando aperfeiçoamento do sistema.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Conceitos Gerais

Hidroponia é um termo que tem raízes gregas: "Hydro" = água e "ponos" = trabalho, e significa simplesmente "trabalho na água". Este termo foi cunhado em 1930 pelo Professor William Gericke da Universidade da Califórnia. Em alguns casos, o termo "hidroponia" é usado apenas para descrever sistemas à base de água, mas no sentido mais amplo, o termo é cultivo sem solo. Um sistema hidropônico é um sistema isolado do solo usado para cultivar vários tipos de plantas. é possível por um suprimento adequado de todas as suas necessidades nutricionais por meio de água ou solução nutritiva.

A hidroponia é uma técnica de cultivo que visa obter produtos com excelente qualidade, sabor e aspectos externos superiores aos obtidos com agricultura tradicional, oferecendo menor risco de contaminações de doenças endêmicas. O cultivo em hidroponia é uma técnica de produção agrícola adequada às exigências de alta qualidade e produtividade com mínimo desperdício de água e nutrientes. Este sistema de cultivo vem crescendo, substancialmente em Moçambique e se apresenta como alternativa, proporcionando maior rendimento e qualidade da produção, bem como a redução da ocorrência de doenças (SANTOS *et al.*, p. 107, 2002).

Segundo Van Ginkel *et al.* (2017), frutas e vegetais que são produzidos no sistema hidropônico, apresentam produtividade superior entre 10 a 29 vezes, pois produz várias vezes em períodos de tempo pré-determinados e espaços reduzidos, porém, consomem 30 vezes mais energia do que os vegetais cultivados no método tradicional.

Van Ginkel *et al.* (2017), afirmam ainda que as técnicas de cultivo hidropônico consomem menos água, aproximadamente 8 a 66 vezes menos, do que o cultivo em solo. Além disso, na produção convencional é aplicado 2 vezes mais nitrogênio do que o necessário em cultivo hidropônico.

O cultivo hidropônico, por ser um sistema de produção sem solo e em ambiente fechado, permite obter produtos de qualidade superior ao cultivo de campo. A solução nutritiva e as condições de cultivo variam para cada espécie vegetal, a qual possui diferentes potenciais produtivos e

exigências nutricionais (TEIXEIRA, 1996). Acrescenta-se à lista de materiais inertes adequados para o cultivo de plantas a fibra de coco, a serragem e a vermiculita.

Em locais com escassez de água, especialmente nas regiões semiáridas do Brasil, onde existe baixa oferta de água potável, Paulus *et al.* (2012) explica que, mesmo utilizando água salobra no preparo da solução nutritiva e na reposição da lâmina diária evapotranspirada, não foram observados sintomas de deficiência mineral nas plantas. O autor constatou ainda que houve redução do crescimento e do consumo hídrico da alface “Verônica”, devido à salinidade da água, além do aumento significativo nos teores de NaCl nas folhas.

Soares (2007) concluiu que, em hidroponia NFT (*Nutrient Film Technique*), a tolerância à salinidade foi maior do que no solo.

Jones Jr. (2005) explica que o controle da qualidade química da solução do solo é muito complexo, e que o fornecimento de solução nutritiva equilibrada pura ou em suportes inertes, tais como areia, cascalho, perlite ou lã de rocha é bem mais simples e seria uma boa alternativa. Buckseth *et al.* (2016), 19

No cultivo com água, as raízes das plantas ficam suspensas em uma solução nutriente. Jones Jr. (2005) cita três tipos de técnicas de produção: a) Solução nutritiva aerada (*Standard Aerated Nutrient Solution*); b) Filme nutriente (*Nutrient Film Technique*); e c) Aeroponia.

A técnica de aeração da solução nutritiva, de acordo com Jones Jr. (2005) é a mais antiga e remonta aos anos 1800. Nesse processo, a solução precisa ser renovada a cada 3 a 5 dias, dependendo do número de plantas que estão sendo cultivadas no recipiente. Esse método tem aplicação comercial limitada, embora a alface e algumas ervas já tenham sido cultivadas com sucesso em folhas de isopor, que foram mantidas flutuando em uma solução de nutrientes constantemente aerada (Figura 1)

Dentre os tipos de sistemas existentes em hidroponia, destacam-se o sistema de recirculação de solução nutritiva (NFT), o sistema radicular flutuante e o sistema substrato; os cultivos hidropônicos mais rentáveis são tomate, pepino, pimentão, alface e flores de corte. Finalmente, uma diminuição considerável das áreas de terras agrícolas nos países em desenvolvimento torna a hidroponia uma alternativa de produção interessante em áreas urbanas e periurbanas.

No contexto da chamada agricultura urbana, a hidroponia pode ser muito bem aplicada em cidades com tecnologias mais simples e de baixo custo, principalmente em áreas de extrema pobreza, como forma de estimular o autoconsumo de hortaliças e sustentar a renda familiar. - emprego em casa própria ou em centros comunitários.

2.2.Vantagens e Desvantagens do cultivo hidropónico

2.2.1. As principais vantagens são:

- Aproveitar terrenos ou solos impróprios para a agricultura tradicional;
- Os rendimentos obtidos com hidropónica superam significativamente a produção tradicional em solo;
- Menor consumo de água e fertilizantes;
- A técnica é muito apropriada em áreas onde há escassez de água;
- Redução na aplicação de agroquímicos;
- Não contamina o meio ambiente;
- Crescimento mais rápido e vigoroso das plantas.

2.2.2. As principais desvantagens:

- Alto custo inicial é necessário conhecimento de fisiologia e nutrição;
- Falta de conhecimento do sistema hidropónico adequado para produzir uma determinada cultura pode reduzir significativamente os rendimentos;
- A falta de experiência no manuseio de soluções nutritivas pode alterar sua composição e afectar a aparência e a qualidade das plantas.
- O surgimento de concorrência desleal de produtores tradicionais que veem a hidropónica como uma ameaça aos seus interesses comerciais.

2.3. Sistemas Hidropónicos

Os sistemas hidropónicos podem ser divididos em dois: -Sistemas hidropónicos puros -Sistemas em agregados ou substratos.



Fig.2.1. horta hidropónica. Fonte: Jones Jr.(2005)

Os sistemas hidropónicos em água (pura) são sistemas hidropónicos por excelência; as raízes das plantas estão em contacto directo com a solução nutritiva. Nos sistemas de substrato, as raízes das plantas crescem e se desenvolvem em substratos inertes; a solução nutritiva flui entre as partículas do substrato umedecendo as raízes. Dentre os sistemas mais desenvolvidos e investigados, destaca-se o Sistema NFT.

2.3.1. Sistema NFT

Conceito técnico de recirculação de solução nutritiva conhecida como NFT (Nutrient Film Technique) foi desenvolvido na década de 1960 pelo Dr. Allan Cooper na Inglaterra. Desde então, este sistema de cultivo, destinado principalmente à produção de hortaliças de alta qualidade, foi desenvolvido e difundido em um grande número de países, onde há condições de solo limitantes e um mercado promissor para fornecer hortaliças frescas de alta qualidade Saúde.

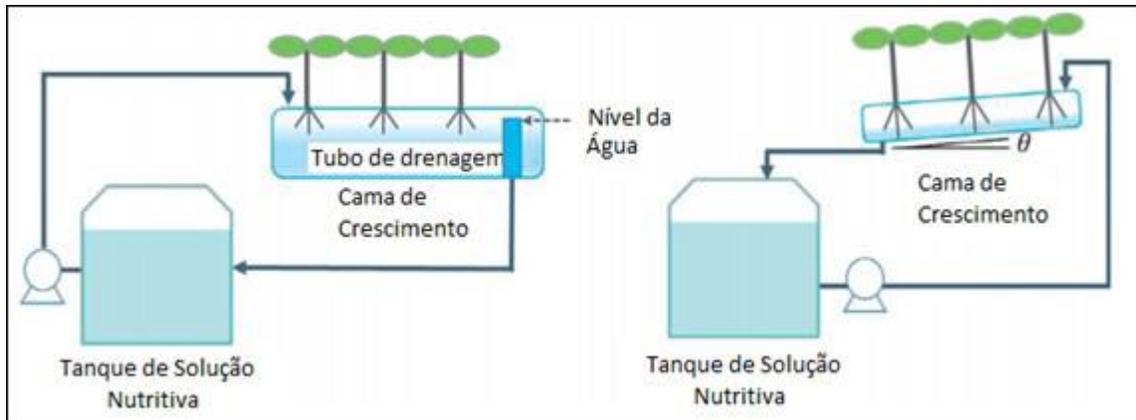


Figura 2.2. Arranjo típico dos sistemas DFT a esquerda e NFT a direita

Fonte: Adaptado de Eek Son, Kim e Ahn (2016).

O sistema NFT baseia-se no escoamento permanente de uma pequena quantidade de solução através de tubos ou tubos de onde a cultura retira os elementos necessários à sua nutrição. Em geral, esse sistema é classificado como de alto custo, requer o fornecimento de um volume constante de água, e para isso energia é gasta no processo de bombeamento. O sistema é composto por tubulações de distribuição, tanque de armazenamento de solução, tanques de formulação e uma bomba que atende as necessidades do sistema. As desvantagens deste sistema residem no custo de utilização de energia, na formulação e na verificação frequente do pH e da salinidade da solução.

A vantagem que a técnica NFT destaca em relação a outros sistemas hidropônicos é a alta qualidade obtida a partir de diferentes produtos hortícolas, tanto em curto período de cultivo quanto em produtividade. O fornecimento constante de água e elementos minerais permite que as plantas cresçam sem estresse e obtenham o potencial produtivo da cultura.

Embora a principal desvantagem deste sistema seja o alto custo de implementação, ele se mostra lucrativo considerando um investimento de longo prazo.

2.3.2. Solução Nutritiva

A solução nutritiva (SN) é uma água com nutrientes minerais, que são adicionados por meio de fertilizantes comerciais, em quantidades e proporções adequadas, de modo a suprir as necessidades das plantas para seu crescimento e desenvolvimento.

Para a preparação de soluções nutricionais utilizadas em cultivo hidropônico, o controle da condutividade elétrica foi de grande importância, pois de acordo com Baron *et al.* (2018), este fator determina quanto, dos elementos minerais (íons), estão disponíveis na solução nutritiva. Quanto mais elevada a concentração iônica, mais elevado o nível de condutividade elétrica, por isso ela pode ser usada como um indicador da força iônica.

Lin *et al.*, (2013), ao cultivarem alfaces sob hidroponia, renovavam a solução nutritiva semanalmente e ajustavam o pH para 6 e a condutividade elétrica em 1,1 mS cm⁻¹, sendo que o fotoperíodo utilizado foi de 16h de luz por 8h de escuro. A temperatura do ar, umidade relativa e níveis de CO₂ para todos os tratamentos foram mantidos, respectivamente, ao longo do experimento a 24°C e 20°C (dia e noite), 75% e 900µmol. mol⁻¹, na câmara de crescimento.

Eek Son, Kim e Ahn (2016) descrevem que as soluções nutritivas para cultivos hidropônicos são geralmente compostas de 13 elementos essenciais. Cada nutriente tem uma concentração adequada e taxa relativa para o crescimento normal de uma planta. No entanto, a concentração iônica nas soluções de nutrientes muda com o tempo, e, posteriormente, um desequilíbrio de nutrientes ocorre no sistema hidropônico fechado.

Santos *et al.* (2013) citam a composição da solução proposta por Furlani em 1995, para o cultivo hidropônico de alface, que apresenta valores para 15 elementos químicos em quantidades de 823,7mg.L⁻¹ de NO₃, 315,8mg.L⁻¹ de K, 147,3mg.L⁻¹ de Ca, 126,1mg.L⁻¹ de PO₄, 106,2mg.L⁻¹ de SO₄, 72,6mg.L⁻¹ de Cl, 24,6mg.L⁻¹ de Mg, 23,9mg.L⁻¹ de NH₄, 1,6mg.L⁻¹ de Na, 2,4mg.L⁻¹ de Fe, 1,94mg.L⁻¹ de BO₃, 0,89mg.L⁻¹ de Mn, 0,2mg.L⁻¹ de Zn, 0,17mg.L⁻¹ de MoO₄ e 0,06mg.L⁻¹ de Cu.

Luz, Guimarães e Korndorfer, (2006), ainda disponibilizam as Tabelas 1 e 2 deste estudo, com informações bem detalhadas para produção da solução nutritiva base para cultivo hidropônico de alfaces bem como o preparo e utilização das soluções de reposição.

Um SN consiste em água com oxigênio e todos os nutrientes essenciais na forma iônica e, eventualmente, alguns compostos orgânicos como quelatos de ferro e algum outro micronutriente que possa estar presente.

Entre os elementos essenciais das soluções nutricionais temos os macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e os micronutrientes: boro, cloro, cobre, ferro,

manganês, molibdênio, zinco e níquel. As necessidades dos elementos minerais das culturas dependem da espécie e do estágio de desenvolvimento em que a cultura se encontra.

A Tabela 1 mostra os sais fertilizantes usados em hidroponia, que é projectado para cobrir as necessidades de todos os elementos necessários no desenvolvimento das plantas.

Tabela 2.1.: Sais fertilizantes usados em hidroponia

Nome químico	Formula química	Solubilidade (g/L)
Nitrato de cálcio	Ca (NO ₃) ₂	1220
Nitrato de potássio	KNO ₃	130
Nitrato de Magnésio	Mg (NO ₃) ₂ 6N ₂ O	279
Fosfato monopotásico	KH ₂ PO ₄	230
Sulfato de magnésio	MgSO ₄ 6H ₂ O	710
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	111
Sulfato de magnésio	MnSO ₄	980
Acido bórico	H ₃ BO ₃	60
Sulfato de cobre	CuSO ₄ 5H ₂ O	310

Os parâmetros usados para controlar a qualidade da solução nutritiva em sistemas hidropônicos são os seguintes:

- Alcalinidade ou Ácidos da solução nutritiva (pH);
- Condutividade Eléctrica (EC); e
- Temperatura do Oxigénio Dissolvido.

2.3.2.1. O pH da solução nutritiva

O pH da solução nutritiva é determinado pela concentração de ácidos e bases. Esse parâmetro (pH) deve ser controlado para manter os elementos nutrientes da solução nutritiva disponíveis. A figura 1 mostra a faixa de pH em que todos os nutrientes estão disponíveis, por isso é importante acompanhar os valores de Ph da solução nutritiva.

2.3.2.2. Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica (CE) indica o teor de sal da solução nutritiva: quanto maior C.E maior o teor de sais.

A eficácia deste parâmetro baseia-se no conceito da proporcionalidade da condutividade eléctrica de uma solução em relação à concentração de sais dissolvidos. a unidade de medida do E.C. está em milisiemes (mS/cm).

A Tabela 2.2. mostra um exemplo de níveis óptimos de condutividade para diferentes tipos de cultivo.

Tabela 2.2. Níveis de condutividade eléctrica por cultura

Cultivo	Condutividade electrica dS/m
Alface	1.3
Tomate	2.5
Espinafre	2.0
Morango	1.0
Salsas	1.8

A Figura 2 mostra como a medição do nível C.E. é realizada. De uma solução usando um dispositivo portátil chamado medidor de condutividade, esta medida, como o pH, é realizado diariamente pelos produtores para poder fazer correcções se este parâmetro está fora do intervalo.

A importância de manter os valores EC da solução nutritiva cria a necessidade de controlar e automatizar esse processo para fazer correcções e manter a CE. Dentro de uma faixa desejada pelo produtor, que será desenvolvida nesta tese.

2.3.2.3. Oxigénio Dissolvido

A água, além de dissolver de forma natural os sais que correspondem aos nutrientes, também o faz com o oxigénio que as raízes necessitam, é por isso que este é um dos parâmetros importantes para garantir um desenvolvimento adequado das plantas.

O fornecimento de oxigénio na solução nutritiva pode ser alcançado por sua recirculação do sistema NFT ou usando bombas de ar ou um compressor. É recomendável injectar o ar em vários pontos do SN, de modo que a concentração de oxigénio seja mais homogênea.

Levando em conta esses conceitos, a recirculação é considerada como um método eficiente e de baixo custo, que será implementado neste projecto.

2.3.2.4. Temperatura

A temperatura da solução nutritiva influencia a absorção de água e nutrientes. a temperatura óptima para a maioria das plantas é de cerca de 22°C; à medida que a temperatura diminui, a absorção e assimilação de nutrientes também faz.

Por exemplo, a baixa temperatura da solução nutritiva tem um efeito maior na absorção de fósforo do que de nitrogênio e água. Com temperaturas abaixo de 15°C há deficiências principalmente de cálcio, fósforo e ferro. A baixa temperatura favorece a Deficiência de cálcio e incidência de podridão foliar de frutos.

O controlo da temperatura da solução nutritiva é de pouca importância em locais de clima temperado. Em áreas ou estações frias, é conveniente ter um aquecimento para evitar temperaturas abaixo de 15 °C. O SN também deve ser protegido com radiação directa dos raios do sol para evitar o aquecimento e alteração química e microbiológico.

2.3.3. Método de Controlo Tradicional do Sistema NFT

O método tradicional de controlo de cultivos hidropónicos é feito manualmente e segue o procedimento abaixo:

- 1) Medição diária dos níveis de pH, C.E. e Temperatura através de dispositivos de medição
- 2) Laptops;

- 3) Ativação da recirculação da solução nutritiva de forma manual ou semiautomática, usando temporizadores para activar as bombas eléctricas;
- 4) Gravação manual de parâmetros em notebooks de controlo;
- 5) Correções manuais dos níveis de pH adicionando soluções ao tanque de solução nutritivo;
- 6) Correções manuais dos níveis de E.C. adicionar soluções ao tanque de solução Nutritivo;
- 7) Recirculações periódicas activadas manualmente para garantir a faixa de oxigénio dissolvido na solução nutritiva.

2.3.4. Ferramenta para o Sistema de Controlo

Actualmente, as ameaças à segurança alimentar assombram o futuro da humanidade e aumentam a necessidade de técnicas mais eficientes para a produção de alimentos, para uma população que está em constante expansão. Nesse contexto, a automatização deste processo torna o cultivo hidropónico se mostra como um processo interessante, pois é muito eficiente e vem sendo alvo de inúmeras inovações tais como a melhor gestão da solução nutritiva, a biofotificação e a aplicação de bio estimulantes vegetais, a automatização dos controles por meio de sensores, o cultivo vertical e a tecnologia de iluminação LED. Para o futuro, a busca será pelo cultivo em locais remotos, como as regiões polares e até mesmo no espaço (GWYNN-JONES *et al.*, 2018; ROUPHAEL *et al.*, 2018).

Para a automação do sistema em causa será usado os seguintes componentes:

Tab 2.3. Ferramentas usados na automação do processo

Componente	Quantidade
ESP23	1
Sensor de nível	3
Sensor de PH	1
Sensor de Temperatura	1
Sensor de Condutividade Eléctrica	1
Electroválvula	3
Electrobomba	1

GSM	1
Swicth	1
Protoboard	1
Relé 5V	3
Power Supply 12V 1-2 A	2
Display	1
Jumpers	50

2.3.4.1. ESP32

ESP32 é uma série de microcontroladores de baixo consumo de energia. Também é um *sistema-em-um-chip* com microcontrolador integrado, Wi-Fi e Bluetooth. A série ESP32 emprega um microprocessador Tensilica Xtensa LX6 com duas variações dual-core e single-core e inclui uma antena integrada RF tipo balun, amplificador de potência, receptor de baixo ruído amplificado, filtros, gerenciamento de energia dos módulos. ESP32 foi criado e desenvolvido por Espressif Sistemas, uma empresa Chinesa com sede em Xangai e é fabricado pela TSMC usando seu processo de fabricação de 40 nm. Ele é um sucessor do microcontrolador ESP8266.



Fig.2.3. ESP32 fonte: [https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32\(2024\)](https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32(2024))

ESP32 é alojado em um encapsulamento do tipo Quad-Flat No-leads (QFN) que possui diversos tamanhos, com 49 pinos. Especificamente são 48 pinos para ligações ao longo da laterais do encapsulamento e um grande contato térmico (ligado ao terra) na parte inferior.

2.3.4.1.1. Composição do ESP-32

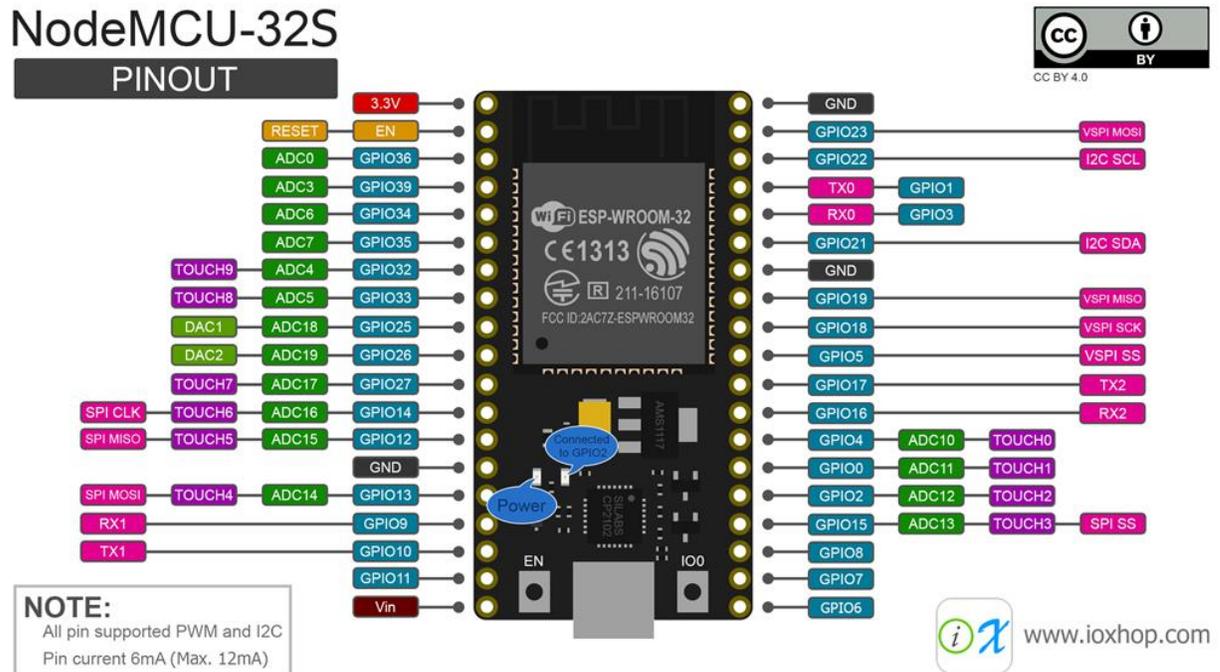


Fig.2.3.1. Composição externa do esp

fonte: [https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32\(2024\)](https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32(2024))

Aqui temos o PINOUT do WROOM-32 que serve como uma boa referência para quando você vai programar. Importante prestar atenção nas GPIOs (General Purpose Input/Output), ou seja, as portas programáveis de entrada e saída de dados que, aqui, ainda podem ser um conversor AD ou um pino de Touch, como é o caso do GPIO4, por exemplo. Isso também ocorre com o Arduino, no qual os pinos de entrada e saída também podem ser PWM.

ESP32 PINOUT

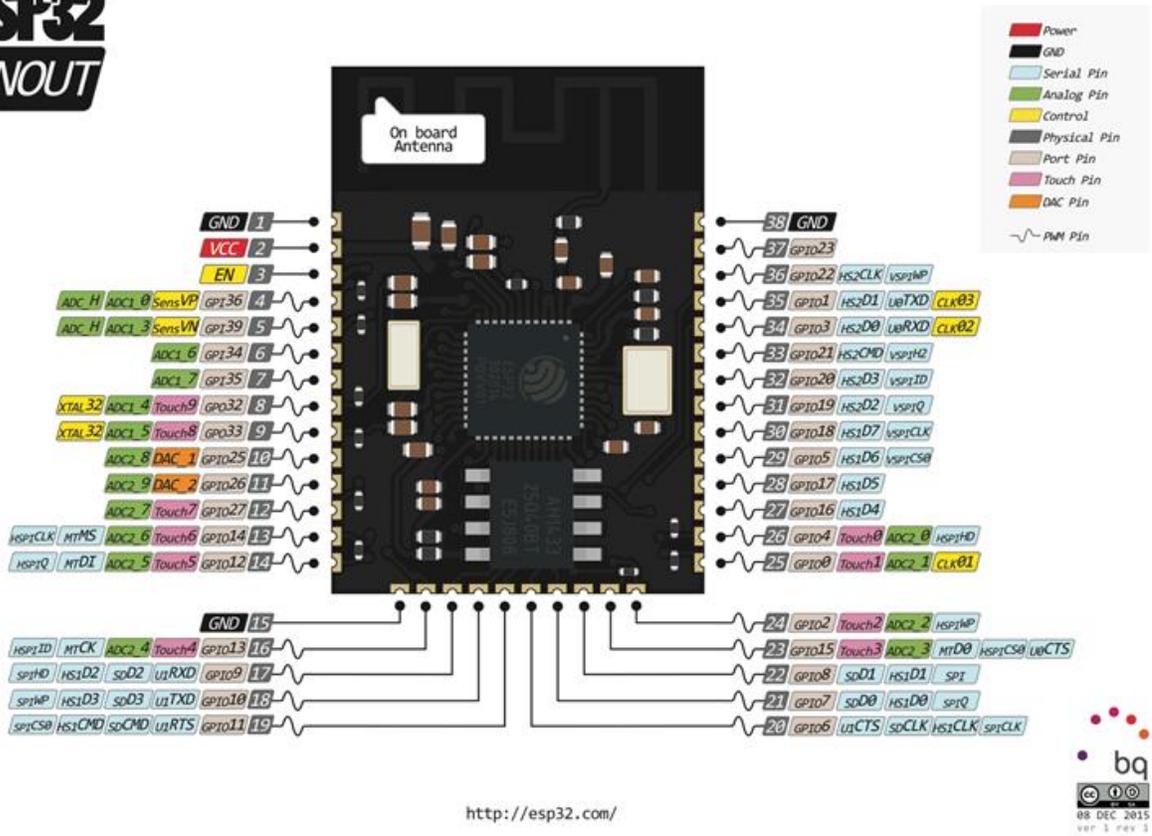


Fig.2.3.2. Legenda de portas de ESP fonte: [https://www.esp32.com/\(2024\)](https://www.esp32.com/(2024))

Na figura2.3.2. acima tem-se o ESP32 propriamente dito. São vários tipos de plaquinhas com características diferentes de acordo com o fabricante.

2.3.4.1.2. Diagrama de Blocos De Composição de ESP32

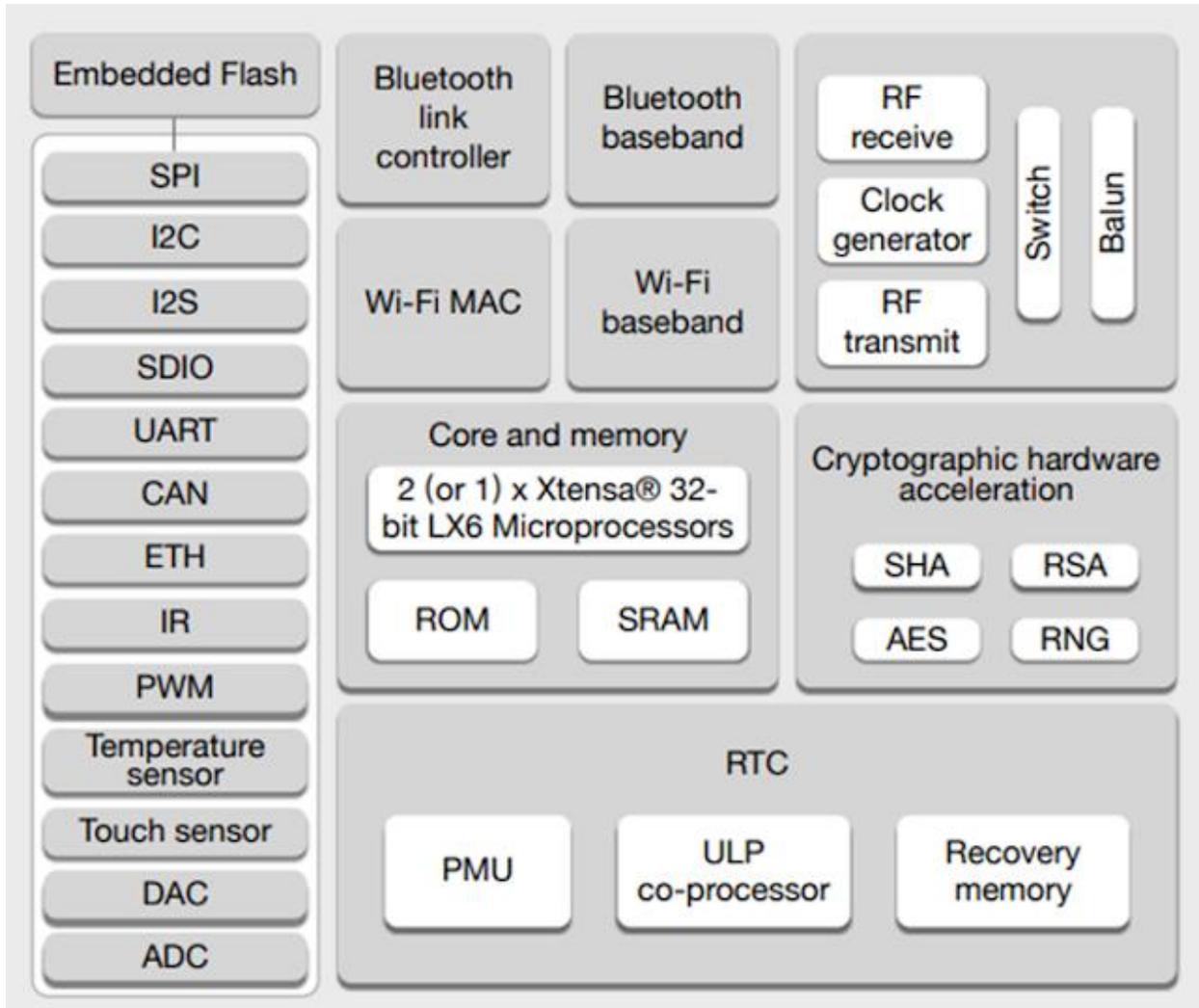


Fig.2.3.3. Composição interna de ESP32 *Fonte: Dfrobot (2019).*

Esse diagrama expõe que o ESP32 tem dual core, tem uma área do chip que controla o WiFi, e outra que controla o Bluetooth. Também tem aceleração de hardware para criptografia, que permite a conexão com LoRa, rede de longa distância que permite uma conexão até 15km, isso com uso de uma antena. Ainda observamos o clock generator, real time clock, e outros pontos que tratam, por exemplo, de PWM, ADC, DAC, UART, SDIO, SPI, entre outros, que fazem esse dispositivo bastante completo e funcional.

2.3.4.1.3. As Características do ESP32 são as seguintes:

i. Processadores:

- CPU: Xtensa dual-core (ou single-core) de 32 bits LX6 microprocessador, operando em 160 ou 240 MHz e realizar até 600 DMIPS
- Ultrabaixa potência (ULP) co-processador

ii. Memória: 520 KB SRAM

iii. Conectividade sem fio:

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR e BLE

iv. Interfaces para periféricos:

- 12-bit SAR ADC até 18 canais
- 2 × 8-bit DACs
- 10 × Sensores de toque (GPIOs de detecção capacitiva)
- Sensor de temperatura
- 4 × SPI
- 2 × Interfaces I²S
- 2 × Interfaces I²C
- 3 × UART
- Controladores de host SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC
- Controlador escravo SDIO/SPI
- Interface Ethernet MAC da com DMA dedicado e Suporte Protocolo IEEE 1588 com Tempo Preciso
- Barramento CAN 2.0
- Controlador remoto infravermelho (TX/RX, até 8 canais)
- Motor PWM
- LED PWM (até 16 canais)

- Sensor de efeito Hall
- Pré-amplificador analógico de ultrabaixa potência

v. Segurança:

- Padrão IEEE 802.11 recursos de segurança para todas as edições, incluindo WPA, WPA/WPA2 e WAPI
- Boot seguro
- Criptografia de Flash
- 1024-bit OTP, até 768 bits para os clientes
- Criptografia de hardware de aceleração: AES, SHA-2, RSA, criptografia de curva elíptica (ECC), gerador de número aleatório (RNG)

vi. Gerenciamento de energia:

- Regulador de baixa eliminação interno;
- Domínio Individual de energia para o RTC;
- 5uA de consumo no sono profundo.

2.3.4.1.4. Vantagens e desvantagens no uso do ESP32

A escolha do ESP32 para este em parte deve-se as suas inúmeras vantagens em relação a outros microcontroladores, como no caso do Arduíno (Um dos microcontroladores mais usados).

Abaixo estão algumas delas:

- **Processamento**

O ESP32 tem um processador dual-core de 32 bits e clock de até 240 MHz, o que o torna mais rápido e eficiente que o Arduino Uno.

- **Conectividade**

O ESP32 tem Wi-Fi e Bluetooth integrados, o que permite a comunicação com outros dispositivos e a Internet.

- **Consumo de energia**

O ESP32 é mais eficiente em termos de energia do que o Arduino.

- **Versatilidade**

O ESP32 é mais versátil do que o Arduino, devido à sua gama mais ampla de funcionalidades e capacidades.

- **Programação**

A placa ESP32 pode ser programada diretamente pela IDE Arduino em C/C++, suporta MicroPython e CircuitPython, LUA e outras linguagens de programação de alto nível.

O ESP32 é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems, lançado em 2016. É a evolução do ESP8266 e é amplamente utilizado em projetos de IoT e eletrônicos.

O ESP32 é um microcontrolador WiFi popular que tem sido amplamente utilizado em projectos de IoT e automação residencial. Entre as vantagens do ESP32 estão sua facilidade de uso e baixo custo.

O chip tem uma ampla disponibilidade de bibliotecas, exemplos de código e documentação online, o que torna o desenvolvimento do projecto mais fácil e rápido. Além disso, como é um microcontrolador WiFi, o ESP8266 permite que os dispositivos se comuniquem facilmente com a Internet e entre si, o que é essencial em muitos projectos de IoT. (HardwareBee, n.d.);

Outra vantagem do ESP8266 é que ele é compatível com a maioria dos ambientes de desenvolvimento, como a IDE do Arduino, a linguagem de programação Lua e muitas outras ferramentas. Além disso, o baixo custo do ESP8266 é um factor importante, pois torna o dispositivo acessível para desenvolvedores e makers em todo o mundo.

No entanto, essa vantagem tem suas desvantagens, pois, embora seja económico, o ESP32 é um chip de baixa potência, que pode ter limitações em termos de desempenho e memória. (Maker Advisor, 2020) (Hackster.io, 2020).

Por fim, é importante destacar que a segurança é uma preocupação importante ao usar o ESP32, pois dispositivos IoT e sistemas de automação residencial são alvos cada vez mais comuns para ataques cibernéticos. É importante adotar boas práticas de segurança, como usar senhas fortes, criptografia e autenticação de dois factores. Também é importante garantir que os dispositivos

estejam actualizados com as últimas actualizações de segurança para evitar vulnerabilidades conhecidas.

2.3.5. Sensor

Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico ou ambiental e gera um sinal eléctrico ou óptico que pode ser lido ou processado por um sistema digital.

Segundo Binny (2014) sensores são "dispositivos que convertem uma grandeza física ou química em um sinal eléctrico mensurável". De facto, existem várias formas de definir sensor, sendo assim também, existem vários tipos de sensores, sendo que estes estão acoplados dentro dos sensores analógicos e sensores Digitais.

2.3.5.1. Sensores analógicos

Os sensores analógicos são dispositivos que convertem um sinal físico em uma saída eléctrica continua proporcional ao valor da grandeza física medida. Eles são amplamente utilizados em sistemas de controle e monitoramento de processos industriais, sistemas de automação predial, equipamentos médicos e outros campos.

Segundo Savaresi (2012), sensores analógicos são aqueles que produzem uma saída eléctrica que varia de forma continua e proporcional à grandeza física que está sendo medida. Esses sensores são usados quando é necessário medir uma grandeza que varia continuamente no tempo, como temperatura, pressão e nível.

É importante, salientar que os sensores analógicos são assim designados pois baseiam-se em sinais analógicos e produzem uma resposta da mesma índole. Sinais analógicos são aqueles que, mesmo limitados entre dois valores de tensão, podem assumir infinitos valores intermediários.

2.3.5.2. Sensores digitais

Sensores digitais são dispositivos que convertem um sinal físico em uma saída eléctrica discreta, representada por um conjunto finito de valores numéricos discretos. Ao contrário dos sensores analógicos, que produzem uma saída eléctrica contínua proporcional à grandeza física medida, os sensores digitais produzem uma saída eléctrica discreta que pode ser processada facilmente por circuitos eletrónicos digitais.

Segundo Helfrick & Cooper (2017), os sensores digitais são aqueles que produzem uma saída eléctrica discreta que pode ser representada por um conjunto finito de valores numéricos discretos. Esses sensores são usados em aplicações que exigem alta precisão, baixo ruído e imunidade a interferências electromagnéticas.

Em geral, o uso de sensores digitais permite a obtenção de informações mais precisas e confiáveis sobre as variáveis físicas, além de permitir um processamento mais fácil e rápido dos dados por sistemas electrónicos digitais.

2.3.6. O Sensor de pH

O pH é uma unidade de medida que identifica de forma quantitativa, a alcalinidade ou acidez de determinada solução, de forma mais teórica, o pH mede a quantidade de íons de hidrogênio contida na solução, onde a faixa de pH pode apresentar variação entre valores de 0 a 14. Um pH de valor igual a 7 é considerado um líquido neutro, uma vez que a água tende a um valor próximo a isto, já valores entre 1 e 6 são considerados líquidos ácidos e valores de pH entre 8 e 14 são considerados líquidos alcalinos, assim como podemos observar na imagem abaixo:

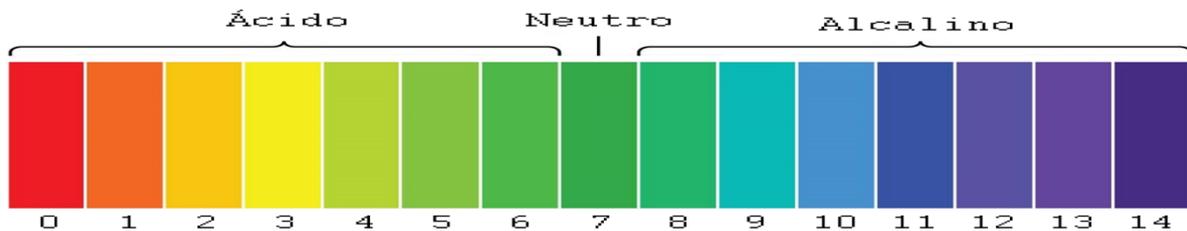


Fig.2.4. Índice de pH conforme valor de referência. Fonte: USINAINFO(2022)

2.3.6.1. Como usar o Sensor de pH Arduino?

Por se tratar de um dispositivo que trabalha com valores relativamente baixos de variação, é importante para o sucesso de nossas leituras que a calibração seja feita no sensor. Como sabemos, as leituras da haste variam entre valores compatíveis com 0 e 14 e o sensor varia sua tensão entre valores de 0 a 5V.

Para calibração do sensor far-se-á um procedimento bastante simples, colocando em curto o pino central no BNC com a parte externa do conector, o que fará com que ao conectarmos o módulo ao Arduino, este mostre o valor médio que convertido em tensão deve ser de 2,5V.



Fig.2.5. Sensor de pH Arduino + Módulo de Leitura. Fonte: USINAINFO(2022)

O Sensor de pH é um dispositivo de medição utilizado em diversos sectores, capaz de fazer a medição da acidez e da basicidade de um determinado líquido, mostrando através de uma escala fixa se o líquido está em condições de um elemento base, ou ácido, sendo 7 considerado um pH de elemento neutro, nem ácido, nem básico.

Saber o pH é uma informação importante que pode possibilitar diversas análises diferentes, uma das mais comuns está associada ao controle da água de piscinas, uma vez que dependendo do seu valor, a água deve ser tratada com diferentes agentes químicos.

Através deste projecto, ir-se-á fazer a medição do pH de alguns líquidos, calibrar a leitura e entender um pouco mais sobre esta tecnologia que está sendo estudada e amplamente utilizada, tanto em sistemas para controlar o funcionamento correto da hidroponia, quanto em outros projectos que envolvem manter a água em condições favoráveis para uso.

O sensor de pH utilizado é da marca Atlas Scientific o que é ideal para projectos hidroponia porque pode ser completamente submersa indefinidamente, além de ter uma longa vida útil e um design robusto e simples.

O sensor será colocado dentro do tanque principal para medir continuamente os níveis de pH da solução nutritiva no sistema.

2.3.6.2. Funcionamento de Sensor pH

O sensor de pH funciona medindo valor do Ph de determinada solução, conseguindo definir sua alcalinidade ou acidez, sendo amplamente utilizado no monitoramento ambiental, na agricultura, além de ser usado no tratamento de águas residuais.

Como a placa apresenta regulador de tensão integrado, suporta o fornecimento de tensão entre 3.3 e 5.5VDC, valor compatível com diversos microcontroladores disponíveis no mercado, como o Arduino.

Basicamente, o sensor é constituído a partir de uma haste, a qual geralmente é feita em vidro, apresentando na “membrana”, sendo preenchido com uma solução para armazenagem, conhecida como tampão de pH. Este design proporciona um ambiente propício no qual íons H^+ ficam armazenados em seu interior e possam ser utilizados como base para futuras leituras.

Quando o sensor é mergulhado na solução de teste, os íons de hidrogênio presentes nesse líquido iniciam uma troca com íons positivamente carregados na membrana de vidro, de forma a criar um tipo de potencial eletroquímico por meio da membrana, convertendo em sinais para leitura do módulo.

2.3.6.3. Características

- Faixa de pH: 0-14 (Na + erro em $> 12,3$ pH);
- Temperatura: $1^{\circ}C - 99^{\circ}C$;
- PSI máx.: 690kPa (100psi);
- Velocidade de resposta: 95% em 1 segundo;

- Ponto isotencial: pH 7,00 (0 mV);
- Dimensões 150mm X 12mm (1/2" X 6").

O circuito de pH mostrado na figura 48 é uma interface que permite o monitoramento da sensor de pH, sua função é ler os valores analógicos do sensor de pH e realizar a conversão analógico/digital por meio de um microcontrolador para poder transmiti-los através de uma conexão serial assíncrona. (0-VDC oscilação de tensão não, + / - 12 volts).

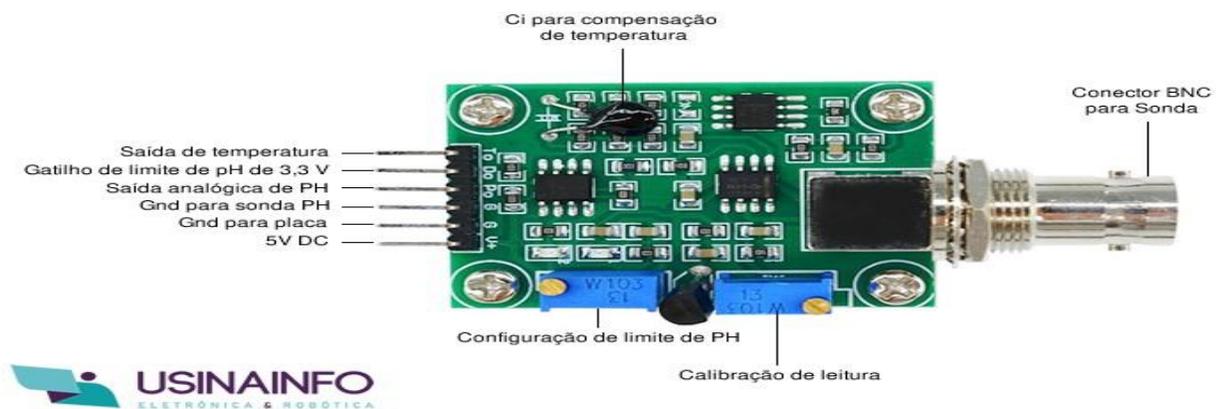


Fig 2.6. Circuito do Sensor de Ph Fonte: USINAINFO(2022)

2.3.6.4. Características do Circuito

- Faixa de leitura de pH de 0,01 a 14,00;
- Precisão de dois algarismos significativos;
- Uma única leitura ou leitura contínua;
- Protocolo de calibração;
- Conectividade serial assíncrona simples (variação de tensão de 0 VCC);
- Tensão operacional de 2,5V a 5,5V;
- Baixo consumo de energia;
- Dimensões: 14 mm x 20,16 mm (0,55 "X0,79").

PinOut

- GND: Terra;
- VDC: 2,5 V - 5,5 V;
- TX: A saída TX fornece dados seriais assíncronos seguindo o formato RS-232;
- A saída mostra caracteres ASCII representando pH, todos terminando com um retorno de carro (ASCII 13);
- A taxa de transmissão é: 38400, 8 bits, sem paridade, com um bit de parada;
- A oscilação de tensão de 0-VDC;
- RX: TTL RS-232, pino de recepção;
- PRB: conexão do sensor de pH

2.3.6.5. Parâmetros Operacionais

Os parâmetros operacionais do sensor de pH e do circuito são mostrados na tabela 2.

Tab.2.3. parâmetros a serem observados

Parâmetro	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
Temperatura de funcionamento (circuito PH)	-40		125	°C
Temperatura de funcionamento (Sensor pH)	1	25	35	C°
VCC	2.5	3.3	5.5	V

2.3.7. Sensor de nível

O Sensor de Nível de Água é um componente electrónico de utilização universal que pode ser usado para os mais diversos fins de prototipagem. Pode ser aplicado em conjunto com plataformas de prototipagem, entre elas, Arduino, PIC, ARM, AVR, etc., de modo a torná-lo funcional.

Na prática, sua utilização dá-se para detectar o nível de líquido em um determinado reservatório, podendo, por exemplo, em conjunto com o microcontrolador, accionar bombas d'água para preencher o volume do tanque ou simplesmente accionar dispositivos sinalizadores para aviso.



Fig.2.7. sensor de nível Fonte: USINAINFO(2022)

Ele funciona como uma chave magnética, entrando em curto quando a boia horizontal é elevada, consequentemente fazendo com que o microcontrolador execute a função para o qual está programado.

Muito prático, pode ser utilizado ainda para monitorar níveis de aquários, canais de água onde circulam soluções nutritivas em áreas que trabalham com hidroponia, tanques com peixes, entre outros.

Não há um fim específico para sua utilização, a aplicação do Sensor de Nível de Água vai depender da necessidade do projectista. Conheça mais deste inovador equipamento e usufrua dos seus benefícios.

2.3.7.1.CARACTERÍSTICAS

- Sensor de nível de água On-Off;
- Compatível com ESP, PIC, ARM, AVR, etc.
- Ideal para utilização em aquários, tanque de água, entre outros;
- Rosca e porca para fixação;
- Fácil instalação;
- Por meio de microcontrolador pode ligar ou desligar bombas de água, de modo a economizar energia e aumentar a vida útil do motor;
- indicado para hidroponia e aquaponia;

- Excelente relação custo-benefício.

2.3.7.2.Especificações

- Tensão de chaveamento, max. 100 VDC;
- Corrente de chaveamento, max. 0.5^a;
- Tensão do contacto aberto, max. 100 VDC;
- Resistência do contacto aberto max. 100 VDC;
- Temperatura de operação: -10-- +85C;
- Extensão do fio: 35 cm;
- Diâmetro 17mm;

2.3.8. Sensor de temperatura

O sensor da temperatura permitirá medir a temperatura da solução nutritiva do reservatório principal, verificando se esta dentro dos parâmetros estabelecidos pelo utilizador ou produtor.

Para realizar a medição da temperatura aplicou-se um sensor simples, mas muito eficaz baseado no circuito integrado LM35 que medirá constantemente a temperatura da solução nutritiva e mediante a logica de programação aplicada permitirá activar o dispositivo de esfriamento da solução.

2.3.8.1.Sensor de temperatura LM35

O sensor de temperatura usado baseia-se no circuito integrado LM35 conforme mencionado anteriormente, ele proporciona na saída um nível de tensão linearmente proporcional a temperatura em graus Celcius. Este sensor possui uma vantagem por não requerer a nenhuma calibração externa e tem uma precisão de 0.50 graus centígrados.

2.3.8.1.1. Características

- Calibrada directamente em graus Celcius;
- Precisão 0.5°C;
- Intervalo aceitável -55°C a + 150°C;
- De baixo custo;
- Opera de 4 a 30 Volts; e
- Menos de 60μA de consumo de energia;

A tabela abaixo mostra os parâmetros de funcionamentos do sensor de temperatura

Parameter	Conditions	LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit	Design Limit	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.2	±0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	±0.3		±1.0	°C
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	±0.4	±1.0		°C
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	±0.4		±1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	±0.15		±0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.4	±1.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	±0.5		±3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.01	±0.05		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	±0.02		±0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		μA
	$V_S = +5\text{V}$	91		114	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		μA
	$V_S = +30\text{V}$	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	±0.08			°C

Fig. 2.10. Parâmetros de funcionamento do sensor. Fonte: Atlas Cientific(2013)

2.3.9. Sensor de condutividade Eléctrica

O sensor de condutividade eléctrica perspectivado para este projecto, seria da marca Atlas Scientific que é resistente a corrosão e extremamente durável. Este sensor é ideal para o uso em hidroponia devido ao seu longo tempo de vida.

O sensor será instalado dentro do reservatório principal, donde vai testar continuamente os níveis da condutividade eléctrica da solução nutritiva do sistema NFT.

2.3.9.1. Características do sensor de condutividade eléctrica

- Superfície de medição: Plano e recoberto de platino preto;
- Material de corpo: Epoxy;
- Variação da temperatura: 0-70 graus C;
- Max PSI: 1379kPa(200psi);
- Dimensões: 150mmX12mm(1/2"X 6");



Fig.2.11. Sensor de C.E. Fonte: Atlas Cientific(2013)

2.3.9.2. Circuito de sensor de C.E

O circuito de sensor de condutividade eléctrica mostrada na figura abaixo, é uma interface que permite o monitoramento do sensor da condutividade. Tem como a função ler os valores analógicos do sensor e realizar a conversão analógica/digital mediante um microcontrolador com

a finalidade de poder transmiti-los através de uma conexão serial assíncrona.(Oscilacao de voltagem de 0-Vcc, +/- 12V).

Este circuito está projectado para leituras tanto contínuas como intermitentes e pode funcionar em forma contínua durante 12 meses antes de uma recalibração.



Fig.2.12. Circuito interno de sensor de condutividade. Fonte: Atlas Cientific(2013)

2.3.9.3.Características de Circuito

- Leitura de condutividade: +/-5Us;
- Capacidade de condutividade completa: de 11uS a 92000Ms;
- As leituras são independentes da temperatura;
- A salinidade se deriva da escala prática de salinidade (PSS-78);
- Condutividade serial assincrónica simples (Oscilação de voltagem de 0-5V);
- Tensão: 5V;
- Dimensões: 18.4mm x 20.56mm (0.72”X0.80”);

Pin-Out:

- GND: terra;
- Vcc: 2.5V-5.5V;

- TX: A saída TX proporciona dados assíncronos em seguimento do formato RS-232. A saída mostras caracteres ASCII que representa o PH.
- A velocidade de transmissão: 38400, 8 bits, sem paridade, com 1 bit de parada;

A tabela abaixo mostra alguns parâmetros de funcionamento do sensor de condutividade eléctrica:

Tab.2.4. parâmetros de funcionamento do sensor de condutividade eléctrica.

Parâmetros	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
Temperatura de funcionamento (Circuito CE)	-40	25	125	°C
Temperatura de funcionamento (Sensor)	-20	20	125	°C

2.3.10. Válvula solenóide

A válvula solenóide é um dispositivo electromecânico utilizado para o controle de fluxo de líquidos e gases, ou seja ela basicamente possibilita ter o controlo de abertura e fechamento da tubulação onde se encontra o fluxo gasoso ou líquido. O funcionamento da válvula ocorre por meio de uma bobina, que quando energizada, cria um campo magnético que implica no movimento do êmbolo que está dentro da bobina, fazendo com que a válvula se abra ou feche. Elas podem ser normalmente abertas (NA) ou normalmente fechadas (NF), quando NA é permitida a passagem dos fluidos até que a válvula seja energizada para fechar a passagem, e quando for NF só permitirá a passagem de fluido se for energizada, enquanto estiver desenergizada ela bloqueará a passagem do fluido.



Fig.2.13. Electroválvula.

Fonte:USINAINFO(2022)

2.3.10.1. Características:

- Válvula de vazão solenoide
- Uso: Água, gás e fluidos de baixa viscosidade
- Tensão bobina: de 5 V a 6 V corrente contínua
- Corrente: 220 mA
- 3 Vias
- Pressão de operação: de 0 a 350 mmHg
- Diâmetro externo do tubo: 1 = 3,2 mm; 2 = 4,5 mm; e 3 = 3,0 mm
- Comprimento do cabo: 15 cm
- Dimensões da parte metálica: 18 mm x 14 mm x 12 mm
- Peso: 16 g

2.3.11. Módulo GSM

O Módulo GPRS GSM Micro Sim800L para Esp8266 Esp32 é um módulo que permite a comunicação sem fio entre dispositivos electrónicos usando redes de telefonia celular. Ele possui um chip Sim800L que suporta as bandas de frequência GSM 850/900/1800/1900 MHz e os protocolos GPRS classe 12 e TCP/IP. Ele também possui um slot para cartão micro SIM que permite o envio e recebimento de mensagens SMS, chamadas de voz e dados via internet. O módulo pode ser facilmente conectado a placas como Arduino, ESP8266 e ESP32 por meio de uma interface serial UART. O Módulo GPRS GSM Micro Sim800L Para Arduino Esp8266 Esp32 é uma solução prática e econômica para projetos que requerem conectividade sem fio e IoT (Internet das Coisas).



Fig.2.14. modulo gsm (fonte: <https://www.casadarobotica.com/internet-das-coisas/comunicacao/gsm-gps/modulo-gsm-gprs-sim800l>)

2.3.11.1. Características

- Opera em quatro bandas 850/900/1800/1900HZ;
- Suporta frequência de radio FM de 76 a 109MHZ;
- Possui tecnologia GPRS mult-slot classe 12/10;
- É Compatível com estações móveis GPRS classe B;
- Modelo: sim800l;
- Tensão de trabalho: DC 3.3V;
- Controlador IC: sim800l;
- Comunicação SPI;
- Temperatura de trabalho: -25°C a 85°C;
- Humidade de trabalho: 5% a 95% UR;

2.3.12. Swicth (chave on/off)

Liga/Desliga é um termo utilizado para descrever a ação de ligar ou desligar um dispositivo electrónico, como um computador, celular, televisão, entre outros. Essa função permite que o usuário ative ou desactive o funcionamento do aparelho, controlando assim o consumo de energia e prolongando a vida útil do equipamento.

2.3.12.1. Funcionamento

O botão Liga/Desliga geralmente está localizado na parte frontal ou lateral do dispositivo e é responsável por interromper ou restabelecer a corrente elétrica que alimenta o aparelho. Quando pressionado, o botão conecta ou desconecta os circuitos internos do dispositivo, permitindo que ele seja ligado ou desligado de forma rápida e segura.

2.3.12.2. Vantagens do uso do Liga/Desliga

O uso do botão Liga/Desliga traz diversas vantagens para o usuário e para o equipamento. Ao desligar um aparelho quando não está em uso, é possível economizar energia e reduzir os custos com a conta de luz. Além disso, o desligamento correto do dispositivo ajuda a prevenir danos causados por picos de energia e aumenta a sua durabilidade.

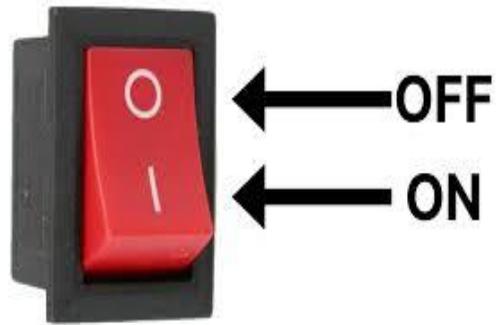


Fig.2.15. Botão liga/desliga fonte: <https://lista.mercadolivre.com.br/interruptor-switch-liga-e-desliga>(2024)

2.3.13. Módulo Relé

Os relés são componentes eletromecânicos capazes de controlar circuitos externos de grandes correntes a partir de pequenas correntes ou tensões, ou seja, accionando um relé com uma pilha podemos controlar um motor que esteja ligado em 110 ou 220 volts, por exemplo.

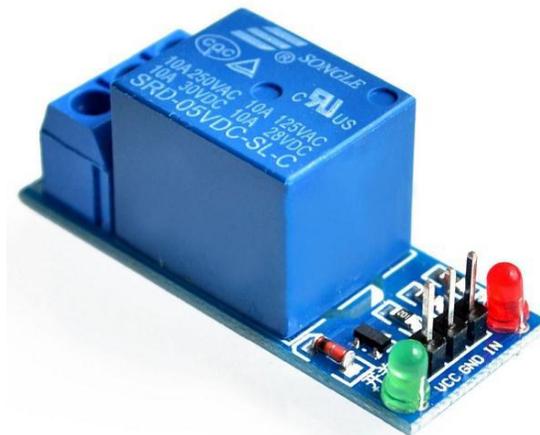


Fig.2.16. módulo rele de 1 canal fonte: <https://lista.mercadolivre.com.br/interruptor-switch-liga-e-desliga>(2024)

O Módulo Relé 5V 1 Canal permite que a partir de uma plataforma microcontrolada seja possível controlar cargas AC (alternada) de forma simples e prática. Por ter apenas 1 canal, é possível controlar apenas uma carga AC de até 10A.

Comumente é utilizado em projetos de automação residencial para controle de lâmpadas, ventiladores e outras saídas que possam ser acionadas através de relé.

2.3.13.1. Especificações e características

- Tensão de operação: 3,3V - 5VDC;
- Corrente de operação: 15-20Ma;
- Capacidade: 30VDC/10A e 250VAC/10^a;
- Tempo de resposta: 5- 10ms

2.3.14. Protoboard

Protoboard é uma placa que possui furos e conexões internas para montagem de circuitos , utilizada para testes com componentes electrónicos. Sua maior vantagem de uso é que ele dispensa a necessidade de solda para conectar tais circuitos, com placas variando entre 830 a 6000 furos. Em outras palavras, a protoboard é uma placa de ensaio que serve de um protótipo de um aparelho electrónico com a matriz de contactos que possibilita construir circuitos de testes sem que haja necessidade de solda e assim, garantindo segurança e agilidade em diferentes actividades. Ou seja, serve como um instrumento de teste antes de se efectuar a solda.



Fig.2.17.protoboard. fonte: [https://lista.mercadolivre.com.br/interruptor-switch-liga-e-desliga\(2024\)](https://lista.mercadolivre.com.br/interruptor-switch-liga-e-desliga(2024))

2.3.15. Power supply (Fonte de alimentação)

Uma fonte de alimentação é o elemento fundamental, para energizar o circuito elétrico, ou mesmo de um dispositivo. Sendo assim, existem vários tipos de fonte de alimentação sendo alguns deles, conversão de uma corrente alternada, a uma corrente elétrica.

Esta conversão é feita de forma obter um sinal contínuo na saída, este sinal poder ter uma magnitude de 12v, 5v ou mesmo 3,3v, dependendo do tipo de dispositivo que se pretende alimentar. É importante destacar aqui um diagrama que melhor representa essa conversão, ou seja, os elementos que fazem parte desta conversão.

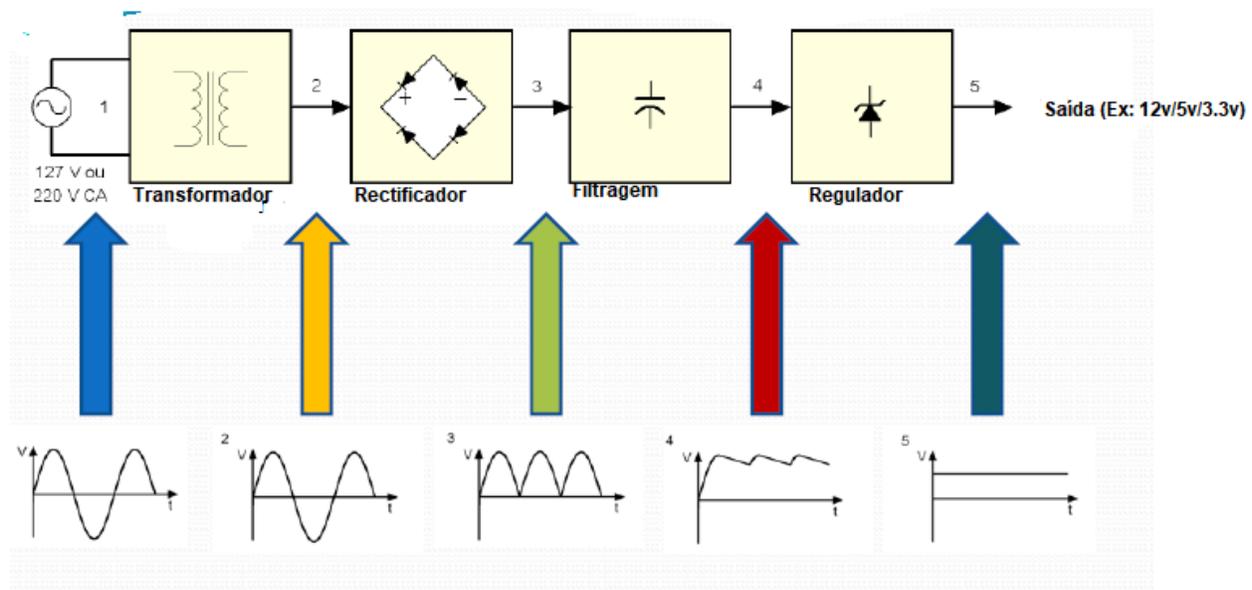


Figure 2.17: Diagrama de Blocos de Fonte de Conversão AC/DC. fonte: Testtech(2009)

É importante que o sinal Alternado passa por vários pontos, até chegar a sua conversão, um sinal de 220v AC, passa por um transformador abaixador onde reduz os seus níveis de tensão e corrente, para uma tensão menor que esta por sua vez, é rectificada pelo certificador, geralmente é sempre rectificador em ponte onde os díodos rectificadores conduzem dois a dois, dependendo da polaridade, em seguida este sinal passa por um filtro, que contem condensadores de preferências condensadores s electrolíticos, para um boa rectificação tornado o sinal 3 em um sinal dente de serra, depois destas 42 filtragem o sinal passa pelo um regulador que torna o sinal. No anexo 2.1 encontra se as fontes de alimentação do protótipo criado, obedecendo a figura 2.15

2.4.Construção do protótipo

A construção do protótipo ou bancada de teste será baseado no protótipo real de um cultivo hidropónico caseiro. Para tal serão usados os seguintes componentes:

Tab.2.5. componentes de bancada de teste

Material	Quantidade	Descrição
Balde	3	Os baldes servirão de reservatórios. O reservatório principal vai conter a solução Nutritiva. Os outros 2 conterão pequenas reservas de sais e bases para elevar ou baixar o nível de PH caso seja necessário.
Tubo PVC de diâmetro 50mm	5	Onde serão fixados as plantas e também é por onde A solução nutritiva passará alimentando as plantas.
Mangueira de aquário	2	Serão responsáveis por transportar a solução líquida até aos canos.
Barras de Medeira	4	“Pernas” da bancada. Servirá de suporte da bancada

2.5.Diagrama de Processo e Instrumentação do PID

A Figura 32 apresenta o diagrama de processo e instrumentação (PID) proposto para o sistema de automação. É composto por sensores de temperatura, pH, condutividade eléctrica e oxigênio dissolvido conectados a um controlador que tem como função analisar os valores para colocá-los em operação. atuadores para estabilizar o sistema quando necessário.

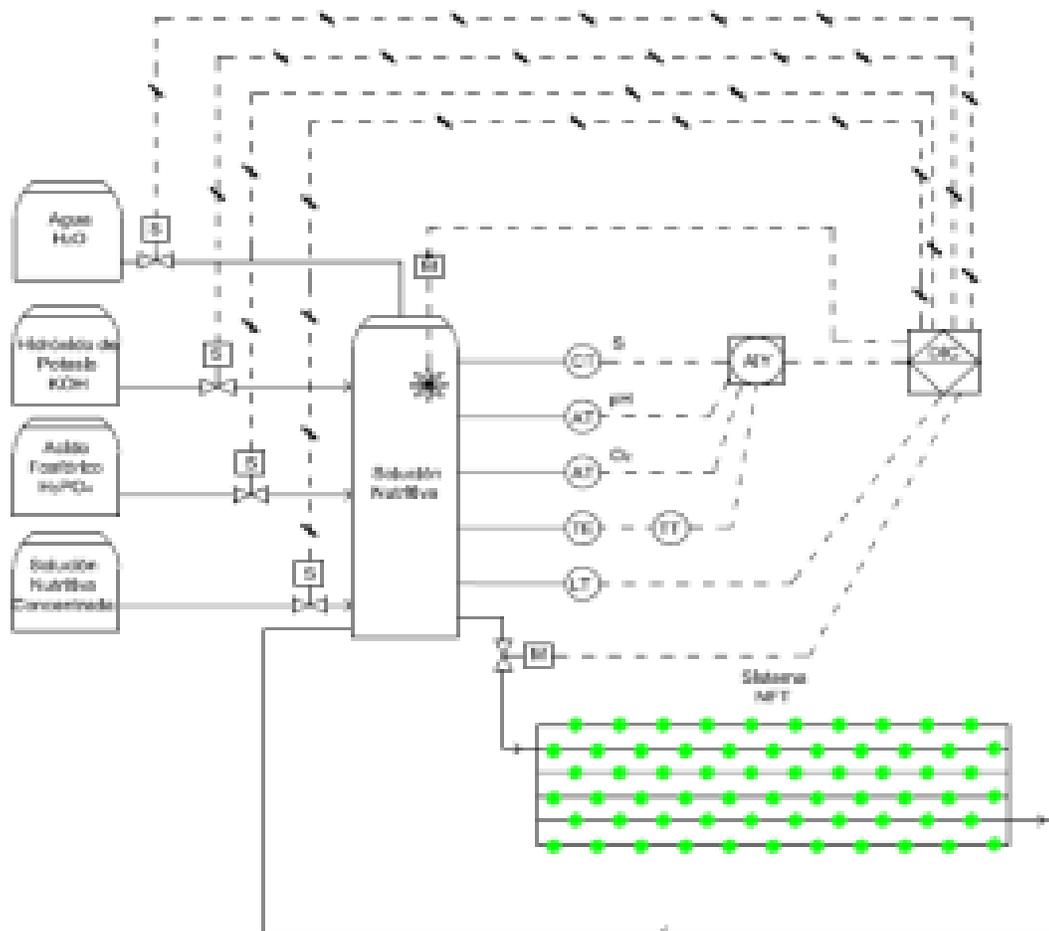


Fig. 2.18. Diagrama PID Fonte: Atlas Cientific(2013)

A Figura 2.18. apresenta o diagrama de blocos desenvolvido conforme diagrama de processo e instrumentação que corresponde ao projeto geral do sistema de automação e controle do sistema NFT para cultivos hidropônicos.

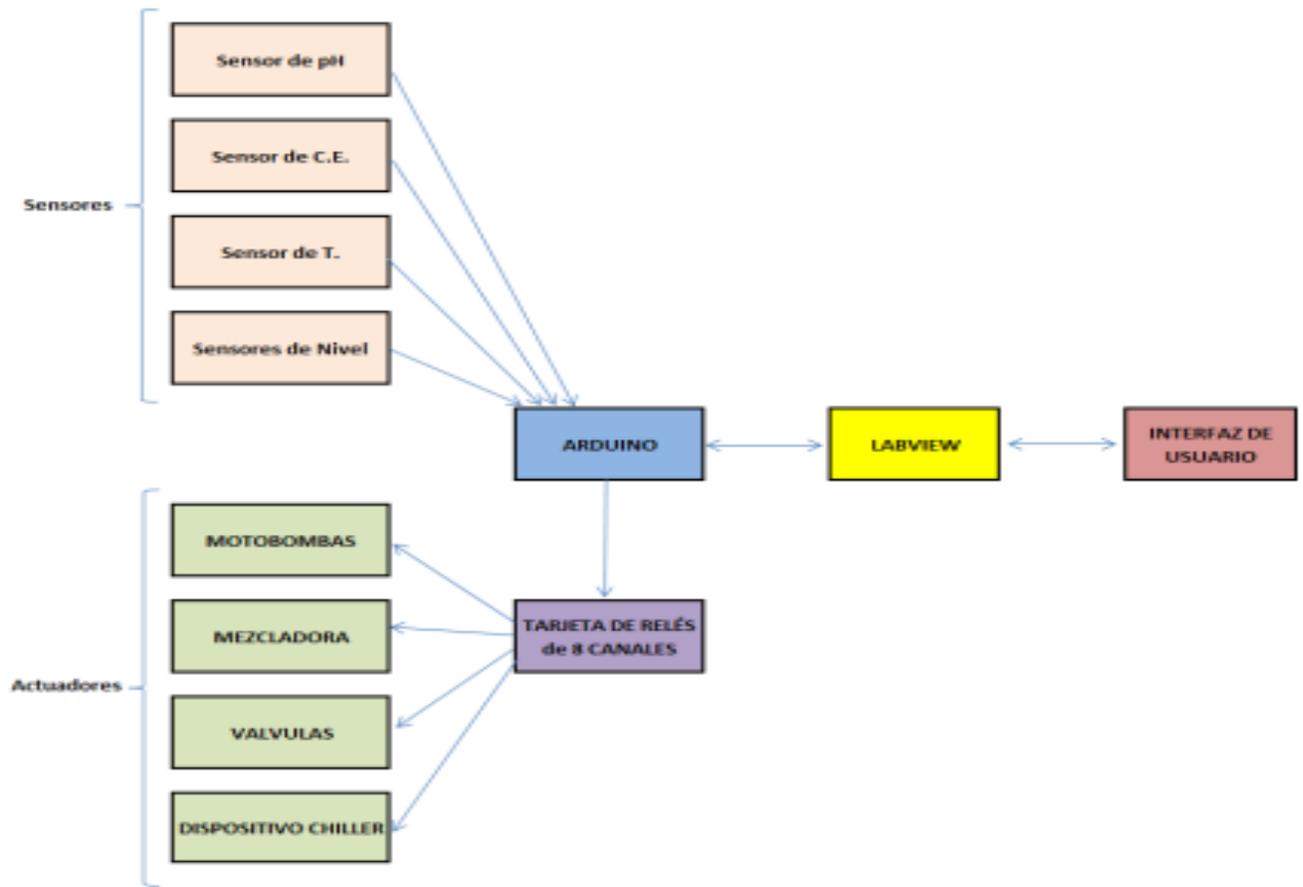


Fig.2.19. Diagrama de bloco do sistema Fonte: Atlas Cientific(2013)

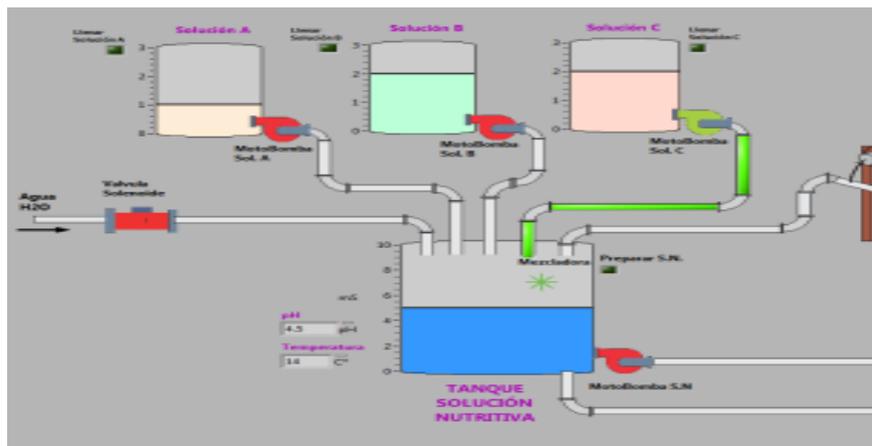


Fig.2.20. Interfac gráfica do sistema. Fonte: Atlas Cientific(2013)

CAPÍTULO III

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO

3.1. Descrição funcional do sistema

O funcionamento do sistema basicamente ocorrerá em quatro (4) fases conforme o diagrama de bloco apresentado na fig.3.1:

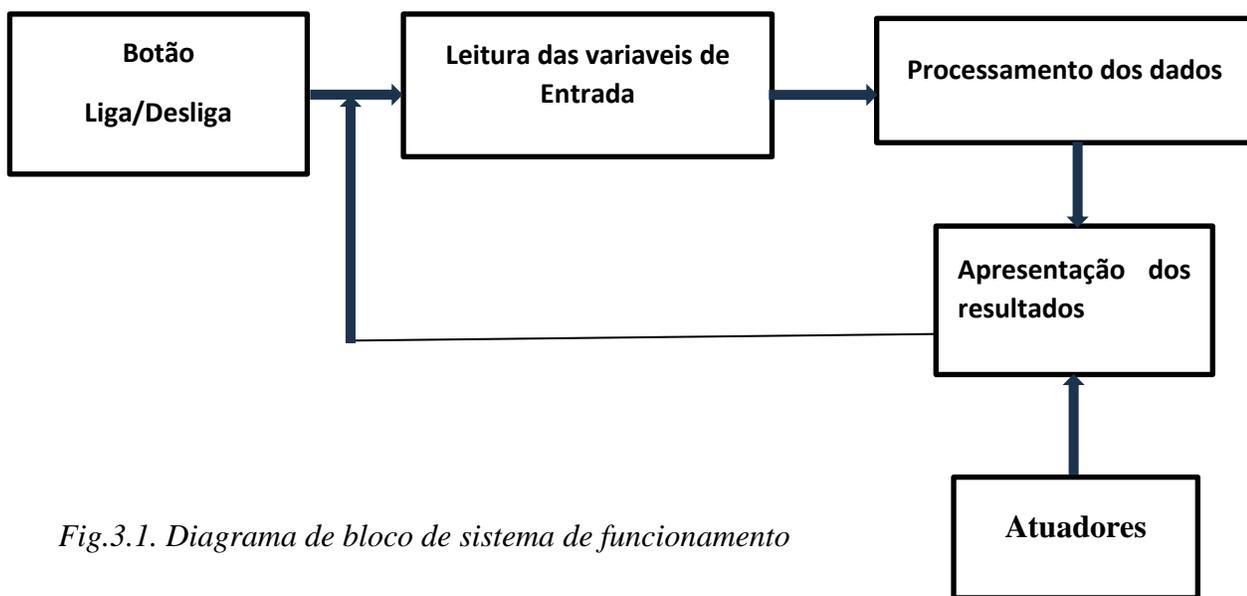


Fig.3.1. Diagrama de bloco de sistema de funcionamento

3.1.1. Leitura das variáveis de entrada

Para o sistema em causa serão considerados as seguintes variáveis de entrada:

- Sensor de potencial hidroeléctrico (PH);
- Sensor de nível;

Nesta fase, o microcontrolador fará a leitura do estado inicial das variáveis de entrada. Na verdade, ele também vai reconhecer o estado inicial de todas as variáveis incluindo atuadores (variáveis de saída). No entanto, vai se concentrar mais nos valores contidos no sensor tanto de pH bem como no nível para saber como proceder.

3.1.2. Processamento

A fase mais crucial do sistema é o processamento das variáveis, que afecta directamente os resultados obtidos na saída. Este processamento inclui cálculos, verificações, ajustes de parâmetros quando necessário e tomada de decisões. O processo ocorrerá da seguinte maneira:

Primeiramente, o microcontrolador ESP, ao receber o sinal eléctrico, realizará uma varredura em todos os seus pinos para verificar os componentes conectados. Em seguida, o sistema verificará o nível da solução no reservatório principal. Se o nível estiver fora do intervalo desejado, o sistema interromperá a rega. A verificação do nível será feita por três sensores instalados no reservatório principal. O sensor de baixo nível garantirá que o reservatório não fique vazio. Se o nível da solução estiver abaixo deste sensor, o sistema interrompe a rega, acciona a bomba do reservatório secundário para abastecer o reservatório principal e emite um alerta ao usuário por SMS informando sobre o estado crítico. Se o nível estiver acima do desejado, o sistema não accionará nenhuma bomba, uma situação que é pouco provável, podendo ocorrer apenas em períodos de chuvas intensas.

O usuário deverá tomar uma decisão nesse caso. O sensor de alto nível evitará que o reservatório fique excessivamente cheio, e o sensor de controle garantirá que o nível da solução esteja dentro dos parâmetros desejados. A programação foi projectada para minimizar a ocorrência de níveis fora dos limites desejados, o que só deve acontecer após um longo período devido à evaporação da solução em altas temperaturas. A técnica NFT utilizada neste projecto promove um ciclo contínuo de realimentação, onde a solução nutritiva retorna ao reservatório após passar pelos canos, minimizando as perdas.

Depois disso, o sistema verificará o nível de pH para garantir que esteja dentro dos intervalos aceitáveis (entre 5.5 e 6.5). Se o pH estiver abaixo de 5.5, o sistema accionará o reservatório de ácido para elevar o pH. Se o pH estiver acima de 6.5, o sistema accionará o reservatório de base para reduzir o pH. Sempre que um reservatório secundário (de ácido ou base) for accionado, o sistema continuará monitorando o pH até que ele esteja dentro do intervalo desejado. Após ajustar todos os parâmetros de entrada, os resultados serão enviados para os pinos conectados aos actuadores, como electroválvulas e bombas eléctricas.

Como todas as variáveis são digitais, o sistema altera o valor lógico da variável de zero para um, permitindo que a bomba eléctrica funcione e a solução nutritiva seja direccionada para os canos onde estão as plantas.

3.1.3. Apresentação dos resultados

Aqui é onde basicamente são apresentados todos os resultados. Ou seja, o funcionamento do sistema. Todas as saídas são activadas (colocando o valor logico 1) consoante a programação feita.

Variáveis de entrada

- Botão push-down;
- Sensor de nível 1;
- Sensor de nível 2;
- Sensor de nível 3;
- Sensor PH;

Variáveis de saída

- Electrobomba;
- Electroválvula solenóide;

3.2. Esquemas

3.2.1. Esquema funcional do sistema

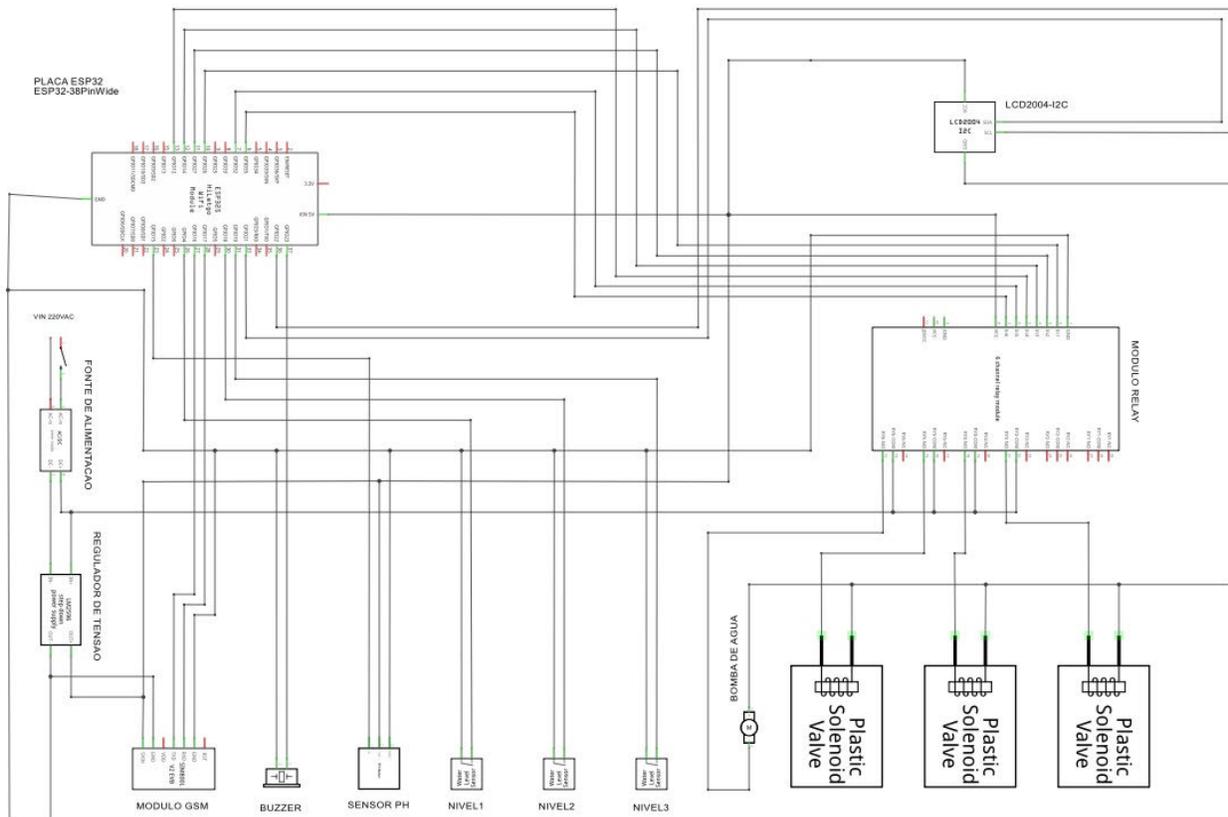


Fig.3.1. esquema funcional do sistema. fonte:Autor(2024)

O esquema na fig. 3.1. representa o circuito electrónico do sistema, isto é, os componentes, todos os condutores e ligações entre eles. Este é o esquema que descreve a forma como os componentes estão ligados, de modo a facilitar a execução prática. O esquema acima também permite uma interpretação clara da sequência e ligações entre os componentes do circuito.

No esquema na fig. 3.2, pode-se notar a presença de alguns componentes relevantes embora não abordados anteriormente tais como: LCD display, Modulo GSM, 3 sensores de níveis, 3 electroválvulas.

3.2.2.1.LCD display

Basicamente serve para permitir a visualização de certos parâmetros na tela, possibilitando assim, a interacção com o homem.

No caso do sistema em causa, os parâmetros a serem exibidos no Display são: O tempo de rega, a temperatura da nutrição, o nível de ph, entre outras mensagens relevantes.

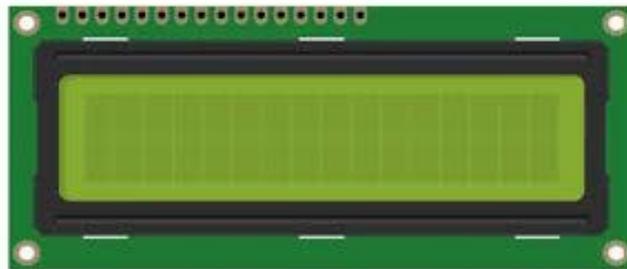


Fig.3.3.LCD Display fonte: <https://lista.mercadolivre.com.br/interruptor-switch-liga-e-desliga>(2024)

O funcionamento de um display LCD é baseado na luz de fundo que é emitida por uma camada backlight, passando por uma camada polarizadora. Depois disso, a luz passa pelos cristais líquidos que são controlados por uma corrente eléctrica e, assim, por um filtro de cor que define a imagem que vemos na tela. Cada pixel é controlado individualmente, o que permite uma grande precisão na exibição das imagens.

3.2.2.2. Modulo GSM

O Módulo GSM Micro Sim800L Para Esp32 utilizado neste sistema é um módulo que permite a comunicação sem fio entre dispositivos electrónicos usando redes de telefonia celular. Ele possui um chip Sim800L que suporta as bandas de frequência GSM 850/900/1800/1900 MHz e os protocolos GPRS classe 12 e TCP/IP.

Ele também possui um slot para cartão micro SIM que permite o envio e recebimento de mensagens SMS, chamadas de voz e dados via internet. O módulo pode ser facilmente conectado a placas como ESP8266 e ESP32 por meio de uma interface serial UART.

Assim, a implementação do GSM no sistema em causa permitirá que o utilizador receba algumas notificações relevantes. Por exemplo, no caso do nível de PH estiver no estado crítico, ou seja, fora dos parâmetros desejados o utilizador será notificado; também no caso de nível de solução nutritiva dentro do reservatório estiver fora dos limites estabelecidos, o utilizador também será notificado.

Estas notificações permitirão a tomada de decisão do utilizador, mesmo estando distante da sua horta.

3.2.2.3. Electroválvulas/Electrobombas

Embora na estema aparecem 3 electroválvulas, na prática uma delas será substituída por electrobomba. Esta substituição deve-se algumas características que a electroválvula apresenta, como por exemplo a pressão. A electroválvula basicamente funciona como se fosse uma chave de liga/desliga com uma pressão de cerca de 1.2Pa, ou seja, muito baixa e insuficiente para o que se deseja. As 2 electroválvulas serão usadas para os reservatórios secundários (Os reservatórios secundários são os que vão conter sais e base de modo a elevar ou baixar o nível de PH). Eles serão posicionados no sentido vertical para que ao se accionar a válvula, ela abra e a solução saia pela gravidade.

No caso de electrobomba, será utilizado na solução principal que estará no reservatório principal, como a solução será injectada nas plantas no sentido inverso da gravidade, a electrobomba contém uma pressão suficiente para transportar a solução nutritiva até aos canos.



Fig.3.4. Mini Bomba 12V fonte: <https://lista.mercadolivre.com.br/interruptor-switch-liga-e-desliga>(2024)

Ela funciona como um dispositivo que movimenta líquidos de um ponto para outro, principalmente água. Opera por meio de um mecanismo que cria vácuo ou pressão, fazendo a água fluir através de tubos ou mangueiras. Geralmente, as bombas utilizam motores eléctricos, de combustão interna ou até mesmo manuais para impulsionar o movimento da água.

3.3.Algoritmo

3.3.1. Fluxograma

Um fluxograma de algoritmo é uma representação gráfica de uma sequência de acções que compõem um algoritmo. Ele ajuda a simplificar processos complexos e torná-los fáceis de entender. Num projecto o fluxograma serve como uma guia lógica da sequência ou passos que serão seguidos até a solução do problema.

3.3.1.1.Declaração das Variáveis

As variáveis abaixo apresentadas (tanto de entradas bem como de saídas) representam os componentes utilizados no sistema e todos eles estarão ligados no microcontrolador ESP32, e funcionarão de acordo com a programação feita.

Todas variáveis digitais inicialmente contêm valor lógico 0 (zero). As variáveis são:

- SN1 (Sensor de nível 1) = SN2 (Sensor de nível 2) = SN3 (Sensor de nível 3) = 0;
- Sph (Sensor de PH) = 0;
- EV1 (Electroválvula 1) = EV2 (Electroválvula 2) = 0;
- EB (Electrobomba) = 0;

3.3.1.2.Variáveis auxiliares

- Tr (Tempo de rega) = 0;
- Cont (Contador) = 0;
- Sm (soma) = 0;
- Med (média) = 0;
- Vcal (Valor de calibração) = 21.34;
- Tensão = 0;

O algoritmo apresentado no anexo 1 em forma de fluxograma, descreve de forma breve e simples todos os passos que serão executados até a solução desejada. Pode-se perceber que alguns passos ou pequenos detalhes foram omissos. São detalhes que não influenciam na execução do processo. Esta constitui uma das desvantagens do fluxograma, não conter todos detalhes como no caso do algoritmo do tipo descrição narrativa.

3.3.2. Codificação

sub-programa de sensor ph

Existem dois métodos para fazermos a leitura dos 2,5V, através do ESP32, onde utilizamos o método demonstrado acima ou através de um multímetro, posicionando a ponta de prova no pino central e na carcaça de isolamento do BNC.

Como o intuito de se fazer a leitura com o ESP32, far-se-á a leitura do sinal analógico recebido pelo ESP32 e converter este valor em Volts através de um código específico apresentado abaixo:

```
// Código para calibração

// Converte valor analógico em tensão

int entrada_A0;

float tensao;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

void loop() {

  entrada_A0 = analogRead(A0);

  tensão = (entrada_A0 * 5.0) / 1024.0;

  Serial.println(tensao);

  delay(500);
```

O seu objectivo do código acima é ler o pino analógico P0 e através do ESP32, exibir a tensão no monitor serial. Para a compilação do código, certifique-se de que a placa ESP32 está seleccionada e também verifique se a porta de comunicação certa está seleccionada.

Feito isto já se pode programar a funcionalidade propriamente dita do sensor ph. o código é apresentado no ANEXO 2.

Depois da execução do código apresentado no Anexo 2 e os valores do sensor não estar calibrado, pode-se fazer de forma mecânica ou manual, como mostra a figura abaixo.

3.3.3. Exibição de dados no Excel

O Excel é uma ferramenta de planilha electrónica amplamente utilizada por empresas e indivíduos para armazenar, analisar e visualizar dados. Com suas poderosas ferramentas de gráficos e tabelas dinâmicas, o Excel permite que os usuários criem visualizações de dados personalizadas e percepções valiosos a partir de grandes conjuntos de dados. Ao integrar o Excel com o ESP32, é possível transmitir dados em tempo real directamente para planilhas do Excel, permitindo que os usuários visualizem e analisem os dados de forma eficiente. Essa integração pode ser útil para projectos que envolvem colecta de dados em tempo real, como sistemas de monitoramento ou controle, oferecendo uma maneira simples e eficaz de visualizar e analisar os dados colectados pelo ESP32. Pode-se usar o streaming de dados para conectar o ESP ao Excel e montar uma planilha com os dados fornecidos.

Para o projecto em causa, a planilha foi construída no MS-Excel 2013 e seu uso é intuitivo. Nela escolhe-se a porta COM que o ESP32 está utilizando, o intervalo entre leituras, e o número de dados desejado. Nesta versão estão disponíveis três opções para o intervalo entre medidas (500, 1000 e 2000 ms). O número de dados colectados pode ser escolhido entre as opções 30, 60, 90 e 120 amostras. Estes parâmetros foram dimensionados de forma a atender uma variedade de experimentos didácticos como as que envolvem medidas de temperatura, variação da resistência em resistores não-ohmicos, luminosidade, pressão, entre outros.

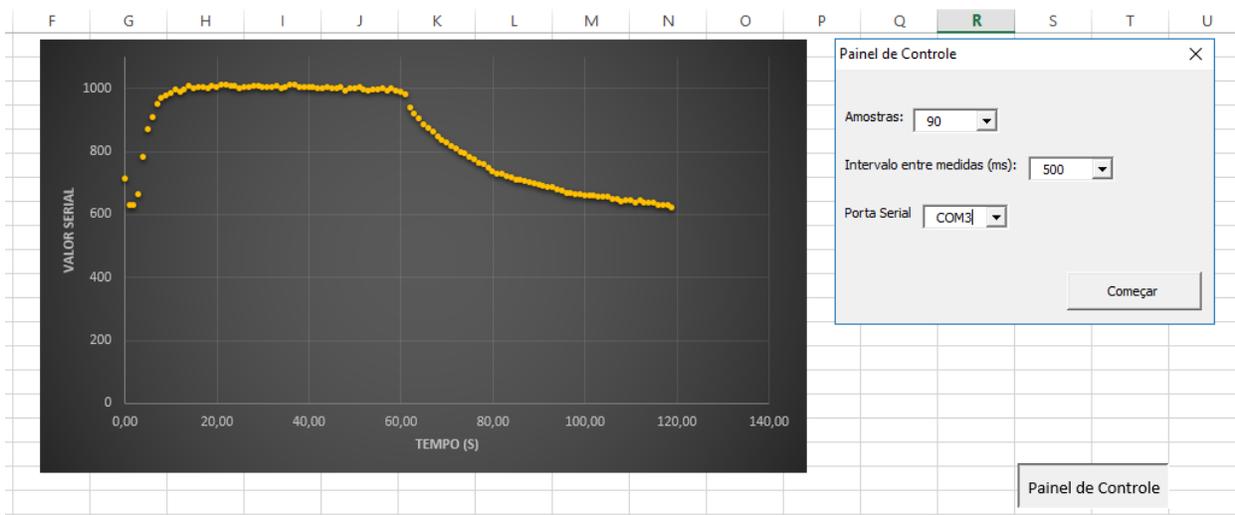


Fig.3.5: Simulação. Tela da planilha de aquisição mostrando a variação de PH num intervalo de tempo. Fonte: Autor(2024)

Ao clicar no botão “Começar”, inicia-se a leitura e captura de dados enviados pelo ESP na porta serial. Estes dados são armazenados na planilha “Dados” e um gráfico começa a ser gerado. Tanto a planilha quanto o gráfico são alimentados em tempo real no intervalo de tempo anteriormente seleccionado. Desta forma o gráfico altera-se segundo a variação do Ph, conforme ilustra a figura abaixo.

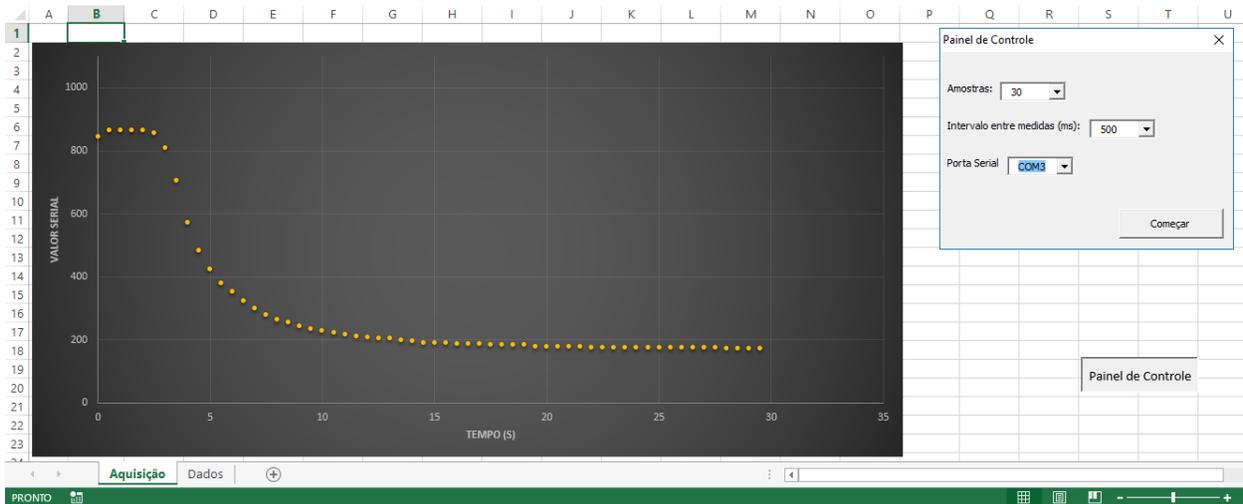


Fig. 3.6: Simulação. O gráfico mostra o comportamento de PH apos ser adicionado água na solução nutritiva, baixando o valor de PH. Fonte: Autor (2024)

3.3.4. Custos Materiais

Os materiais utilizados para construção do protótipo, são subdivididos em componentes do protótipo, materiais de canalização, material de transporte e impressão do próprio relatório.

A tabela 3.1 ilustra, todos componentes usados para a construção do protótipo, isto é, referente ao hardware do sistema.

Tabela 3.1: Componentes do Protótipo

Componentes	Quantidade	Preç. unitário(MT's)	Preço Total (MT's)
ESP32	01	1550,00	1550,00
Sensor PH	01	22500,00	2500,00
Sensor de nível	03	1100,00	3300,00
Minibomba de água	01	1300,00	1300,00
Electroválvulas	02	1100,00	2200,00
Modulo. Rele 4ch	01	1600,00	1600,00
Protoboard	02	390,00	780,00
Modulo GSM	01	750,00	750,00
LCD Display	01	900,00	900,00
Jumpers femea	10	10,00	100,00
Jumpers Macho	10	10,00	100,00
Baldes	1	150,00	150,00
Cano PVC 2m	2	200,00	400,00
Juntas	6	50,00	300,00
Cotovelos	4	50,00	200,00
Bujão	4	50,00	200,00
Mang.de aquário	1	400,00	400,00
Base de suporte	1	2200,00	1200,00
Transporte	1	850,00	380,00
Impr. e Encadernação	1	2800,00	500,00
		SOBTOTAL	18.610,00
		Margem de erro	10%
		TOTAL	20.471,00

CAPÍTULO IV

4. Análise e discussão dos dados

Na execução do sistema observou-se que inicialmente o reservatório principal encontrava-se vazio e ao se acionar o botão liga inicia-se o processo do enchimento controlado pelos 3 sensores de níveis. Este processo corresponde a um dos resultados inicialmente esperado, visto que para que o processo da rega inicie tem de se garantir que o reservatório principal tenha o nível de água minimamente aceitável.

Também é possível verificar-se o momento em que as variáveis de entrada (Sensores de Ph e de Nível) são lidas. No que concerne ao valor de Ph, foi definido durante o desenvolvimento do algoritmo que seja lido após o término do enchimento do reservatório, a logica por detrás desta decisão reside no facto das grandes variações de níveis de ph que se verifica quando o sensor de ph faz a leitura durante o processo do enchimento. Nota-se que o sistema faz exatamente isso, deixa que o reservatório encha completamente e só depois é que faz a leitura.

Outro resultado esperado de grande relevância é o momento em que se inicia o processo da rega. Esperava-se este inicie apenas após certas condições forem satisfeitas e uma das condições que o sistema deve satisfazer tem haver com os intervalos estabelecidos para os valores de PH aceitáveis ($5.5 < PH < 6.7$). Na execução, observa-se o momento em que o sistema aciona o dreno de uma componente do tipo ácido (Na demonstração foi usado o Vinagre) dentro do reservatório principal com o objetivo de estabilizar o valor de PH que inicialmente encontrava-se relativamente acima do limite desejado, assim que o valor de PH estabiliza o sistema inicia o processo da rega, ou seja, o reservatório principal drena a solução nutritiva sobre os canos a cada 30 segundos para garantir que este não fique sobrecarregada de tanta “água” o que seria prejudicial para as plantas. Tudo isso ocorre mediante notificações em tempo útil por SMS sempre que os parâmetros estiverem fora dos intervalos desejados.

CAPÍTULO V

5. Considerações finais e Recomendações

5.1. Conclusões

Chegado ao fim do projecto em causa e tendo em conta os objectivos inicialmente definidos, pode-se dizer que por meio da pesquisa bibliográfica feita foi possível saber-se que a hidroponia é uma técnica de cultivo que visa obter produtos com excelente qualidade, sabor e aspectos externos superiores aos obtidos com agricultura tradicional, oferecendo menor risco de contaminações de doenças endêmicas.

O desempenho do sistema de controlo aplicado ao cultivo hidropónico utilizando a técnica NFT não só permite o controlo dos níveis de pH, condutividade e temperatura das soluções nutritivas, como também regista continuamente esses valores, criando um histórico detalhado de todas as variáveis ao longo do processo de produção. Esse registo se torna uma valiosa fonte de informações para melhorar a qualidade das produções futuras. Tendo em vista estes parâmetros foi desenvolvido um algoritmo utilizando fluxograma, descrevendo passo a passo de como ocorre o processo de automação com uma logica fácil de ser compreendida.

A automação do processo de cultivo hidropónico mostrou-se ser bastante fundamental para o contínuo crescimento da produção hidropónica, pois, isto permite o controlo automático de parâmetros chaves deste cultivo, como no caso de PH, Condutividade eléctrica do líquido, temperatura e outros parâmetros essenciais. A componente chave para a automatização deste processo é o microcontrolador ESP32. A escolha de esp32, deve-se as inúmeras vantagens que este apresenta em relação a outros microcontroladores como no caso do Arduíno.

A integração de modulo GSM neste sistema constitui uma importante inovação, pois conforme visto ao longo do trabalho vai permite o controlo do sistema (pese embora não a 100%). O usuário pode tomar decisões acertadas na base das notificações que receber do sistema.

5.2. Limitações e Constrangimentos

Durante o desenvolvimento do projecto, desde a fase inicial até a fase final, foram constatadas as seguintes limitações e dificuldades:

- Dificuldades na obtenção de todos os componentes electrónicos necessários, devido à indisponibilidade de certos itens no mercado nacional, o que obrigou a importação de alguns, como o sensor de pH.
- Escassez de recursos financeiros para adquirir todos os componentes, uma vez que poucas empresas no país comercializam material electrónico, o que eleva significativamente os custos. Isso impossibilitou a obtenção de alguns itens mencionados ao longo do trabalho, como o sensor de condutividade eléctrica.
- Foi necessário calibrar mecanicamente o sensor de pH para realizar a conversão do sinal de entrada em tensão. No entanto, isso se mostrou difícil de fazer apenas por meio da codificação no ESP32, sendo preciso utilizar um shunt para realizar essa tarefa.
- Diversos experimentos foram realizados para aprimorar o sistema, especialmente no que se refere à implementação do circuito, demandando várias tentativas.
- Houve dificuldades em encontrar uma empresa especializada em consultoria para cultivo hidropónico, o que era importante para adquirir mais informações práticas sobre o funcionamento desse tipo de cultivo. Além disso, foi necessário visitar um campo de cultivo para melhor compreender como automatizar o sistema de forma eficiente.
- Encontrar os elementos necessários para a formação da solução nutritiva foi outro desafio, devido à escassez de fornecedores especializados em cultivo hidropónico. Como alternativa, para simulação, utilizou-se água com pH normal, cujo valor é 7.

5.3. Recomendações

Abaixo seguem algumas recomendações, que podem ser usados para a implementação e/ ou o melhoramento do sistema. As recomendações são as seguintes:

1. O autor não efectuou um estudo bem apurado sobre implementação do sistema para o uso comercial ou industrial, sendo que este trabalho é uma proposta de um sistema, recomenda-se que em futuros trabalhos se faça uma análise mais profunda de como poderia ser implementado o sistema do ponto de vista comercial.
2. É recomendável o desenvolvimento de uma plataforma web, para possibilitar a criação de uma base de dados, que garante a execução de alguns comandos remotamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Van Ginkel, E. a. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. [S.l.]:Editores técnicos, 2017. 596 p. Citado na página 13.

SANTOS, et al. Produção sustentável de alimentos em cultivo hidropônico Pag. 107, 2002

JONES Jr, e. T. Long range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and Smart City scenarios. 2005. Disponível em: . Acesso em: 25 jun 2019. Citado na página 28;

TEXEIRA, E. CoolFarm. 2019. Disponível em: . Acesso em: 15 jun 2019. Citado na página 19.

SAVARESI, J. S. Hidroponia cultura sem terra. [S.l.]: Nobel, 2012. Citado na página 11;

EGLI, P. R. Overview of Emerging Technologies for Low Power Wide Area Networks in Internet of Things and M2m Scenarios.Link Labs. 2015. Disponível em: . Acesso em: 28 jun 2019. Citado na página 28. ELEKTORSTORE;

NodeMCU with ESP8266 and Lua. 2019. Disponível em: . Acesso em: 15 jun 2019. Citado na página 25.

FARMING, U. V. CoolFarm is a cool farm. 2019. Disponível em: . Acesso em: 15 jun 2019. Citado na página 19.

ROUPHAEL, D. A. Análise da segurança de redes wi-fi através de teste de penetração em instituições de ensino superior de belo horizonte.

Projetos e Dissertações em Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento, p. 40, 2015. Citado na página 26. FILIPEFLOP.

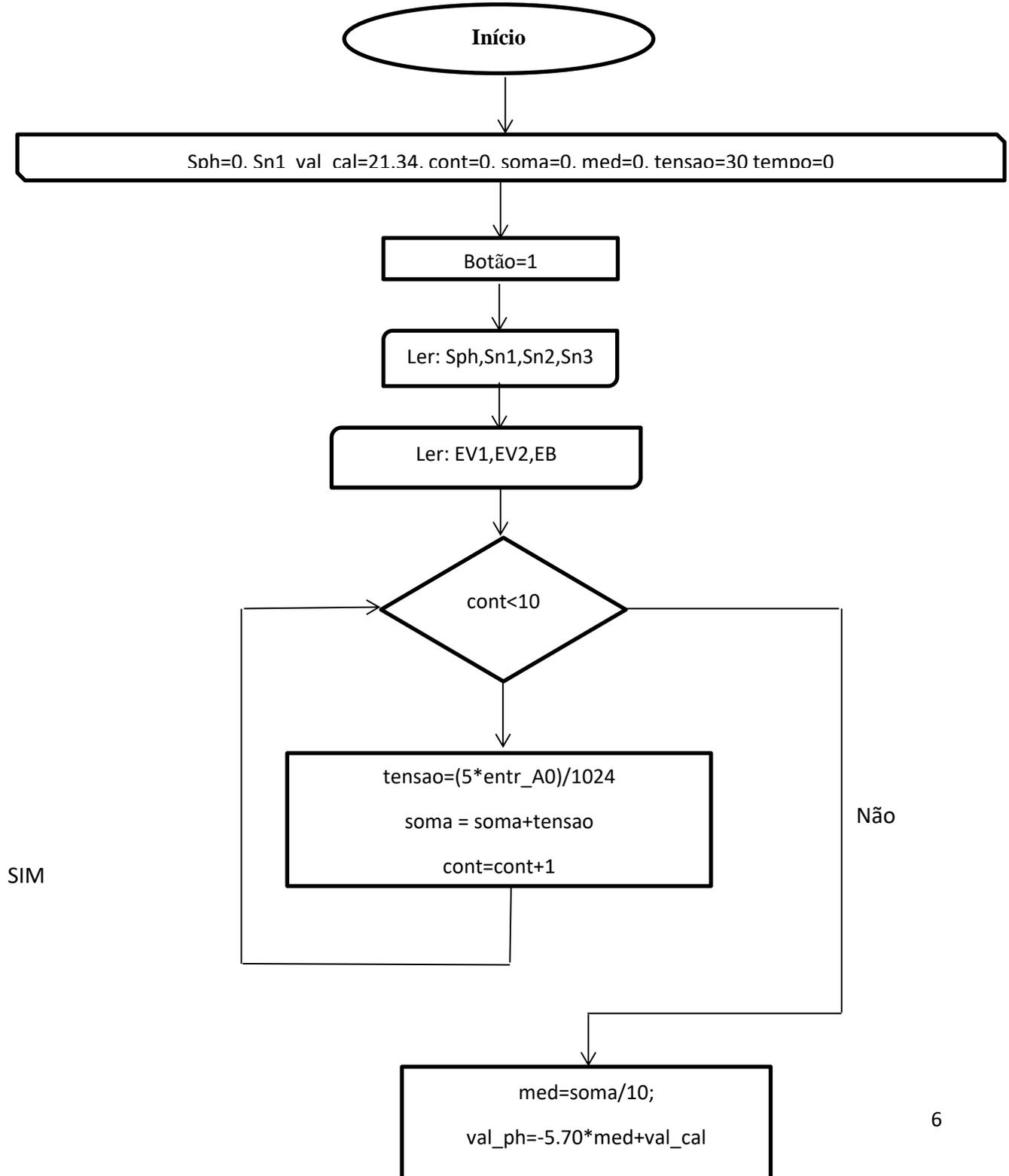
Sensores Módulos. 2019. Disponível em: . Acesso em: 15 jun 2019. Citado 5 vezes nas páginas 21, 22, 23, 24 e 25. GROHO.

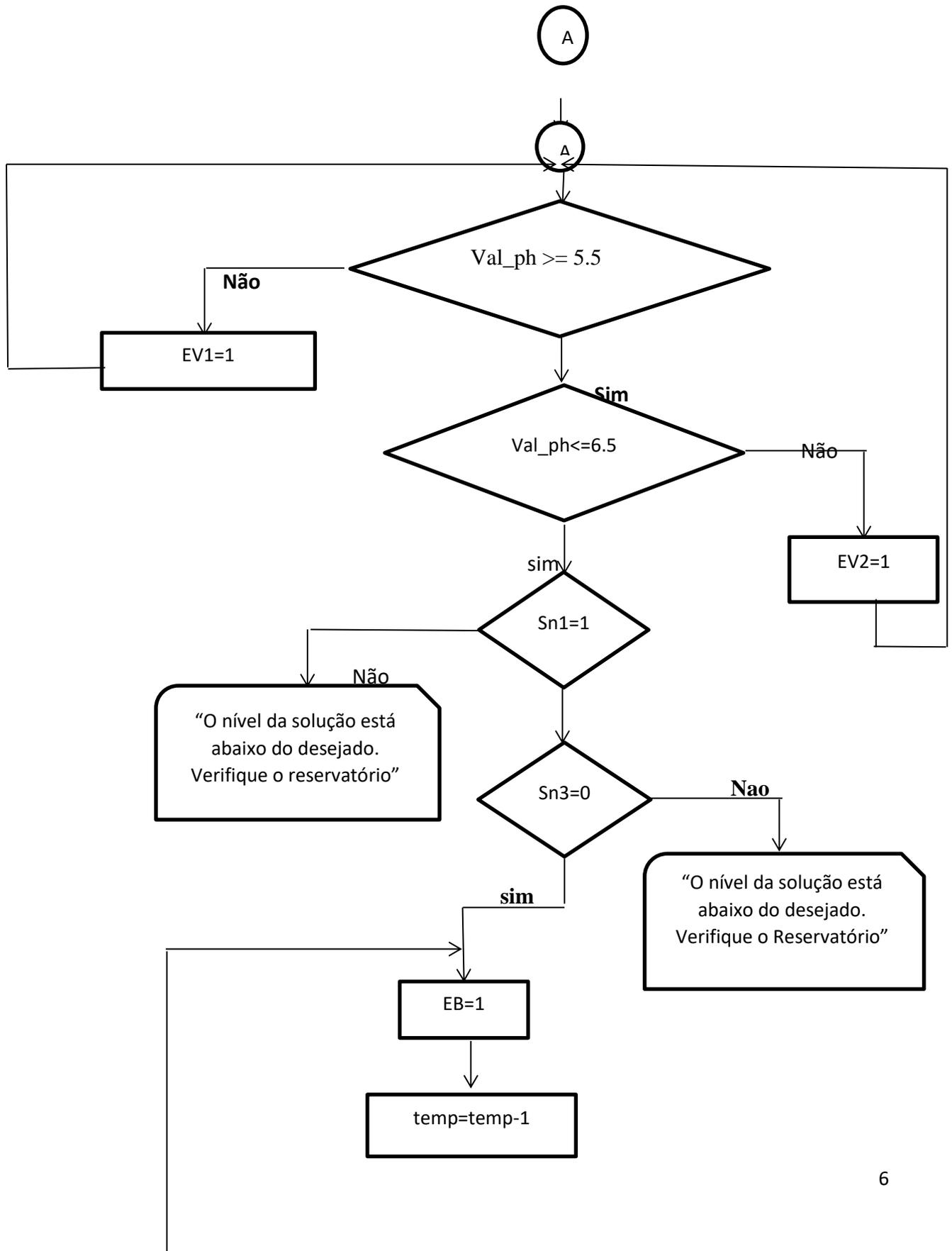
O que é Hidroponia? 2019. Disponível em: . Acesso em: 15 jun 2019. Citado 4 vezes nas páginas 14, 15, 16 e 17. HYDROPONICS, S. pH. 2008. Disponível em: . Acesso em: 25 jun 2019. Citado na página 14.

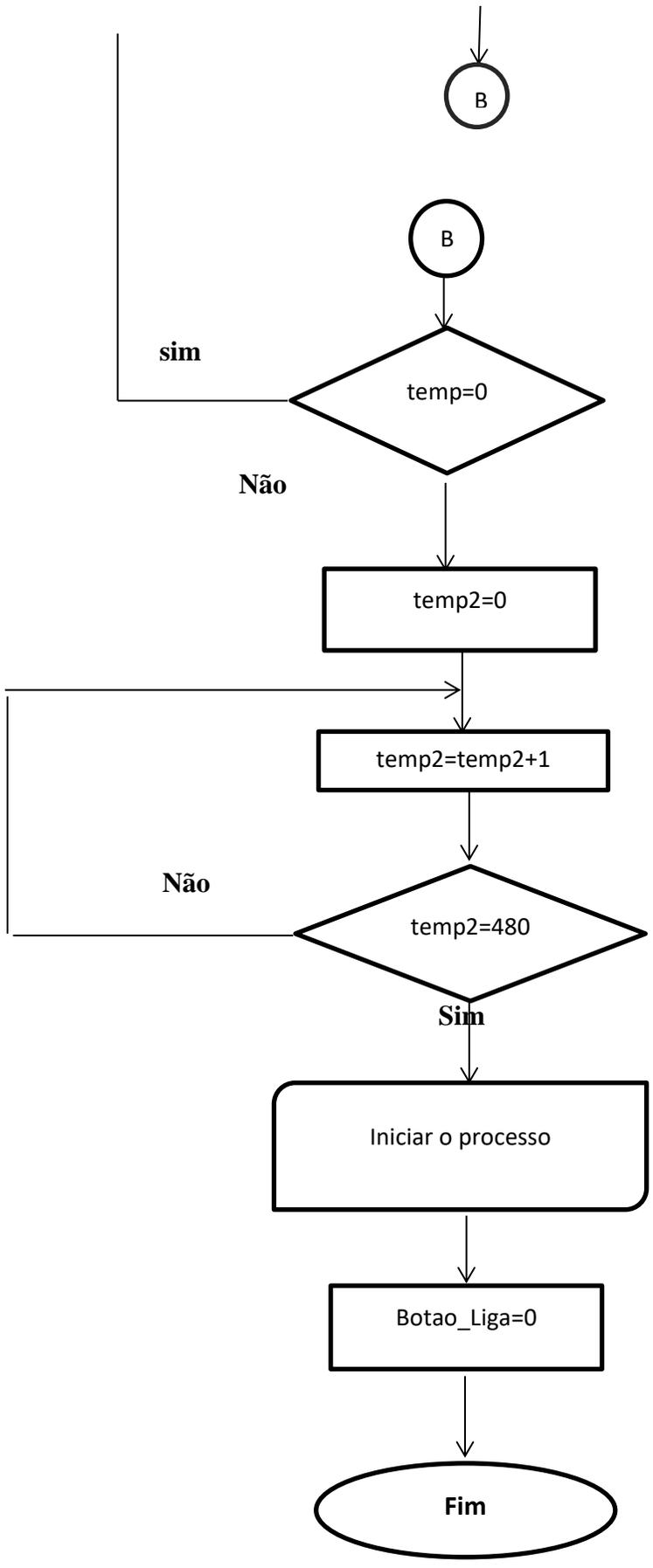
<https://www.casadarobotica.com/internet-das-coisas/comunicacao/gsm-gps/modulo-gsm-gprs-sim800l>

ANEXOS

ANEXO 1. FLUXOGRAMA







ANEXO 2. CODIGO PRINCIPAL

```
// Definindo e inclusão das bibliotecas
#define Sensor1 7
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
int sensor1 = 1;

float valor_calibracao = 21.34+1.2; // Fator de calibração

int contagem = 0;      // Variável de contagem
float soma_tensao = 0; // Variável para soma de tensão
float media = 0;      // Variável que calcula a media
float entrada_A0;     // Variável de leitura do pino A0
float tensao;         // Variável para conversão em tensão
unsigned long tempo;  // Float tempo

//variaveis de controle de tempo
int tempo_rega = 21;
int tempo_paragem = 0;

int entrada = 0;
int flag = 0;

int rele = 5; // definir o rele na porta
int rele2= 6; // rele na porta 6 para adicionar agua
void setup() {
  pinMode(Sensor1, INPUT);
  pinMode(rele,OUTPUT);
```

```

pinMode(rele2,OUTPUT);
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(4,0);
// lcd.print("Hackster");
delay(1000);
}

void loop() {
int sensor1 = digitalRead(Sensor1);
soma_tensao = 0; // Inicia soma_tensão em 0
contagem = 0; // Inicia a contagem em 0

while (contagem < 10) { // Executa enquanto contagem menor que 10
tempo = millis(); // Define o tempo em microssegundos
entrada_A0 = analogRead(A0); // Lê a entrada analógica
tensao = (entrada_A0 * 5.0) / 1024.0; // Converte em tensão, o valor lido
soma_tensao = (soma_tensao + tensao); // Soma a tensão anterior com a atual
contagem++; // Soma 1 à variável de contagem
delay(100); // Aguarda para próxima leitura
}

media = soma_tensao / 10; // Calcula a média das leituras

float valor_pH = -5.70 * media + valor_calibracao; // Calcula valor de pH Posiciona
//lcd.setCursor(0, 0); // Posiciona o cursor na posição
//lcd.println("HIDROPONIA"); // Escreve no monitor serial
// lcd.setCursor(0, 1);
lcd.setCursor(0, 0); // o cursor no display
lcd.print("Valor pH: "); // Escreve no display
lcd.setCursor(11, 0); // Posiciona o cursor no display

```

```

lcd.print(valor_pH, 1);    // Escreve o pH com uma casa decimal
delay(1000); // Aguarda para próxima leitura

//if ((valor_pH > 6)&&(valor_pH<17)) situacao que tinha

if(valor_pH >=5.5 ){
    if(valor_pH <= 6.5){
        digitalWrite(5,HIGH); // liga reservatorio principal
    }
else
    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("adiciona limao"); // limao ou vinagre baixa o nivel de PH
        lcd.setCursor(1,1);
    }
digitalWrite(6,HIGH); // adionar agua (ph=7) na solucao nytritiva

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("subindo PH");
    lcd.setCursor(1,1);

}

tempo_rega--;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("regando:");
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.print("00:");

```

```
if(tempo_rega<10){
  lcd.print("0");
}
lcd.print(tempo_rega);
delay(1000);

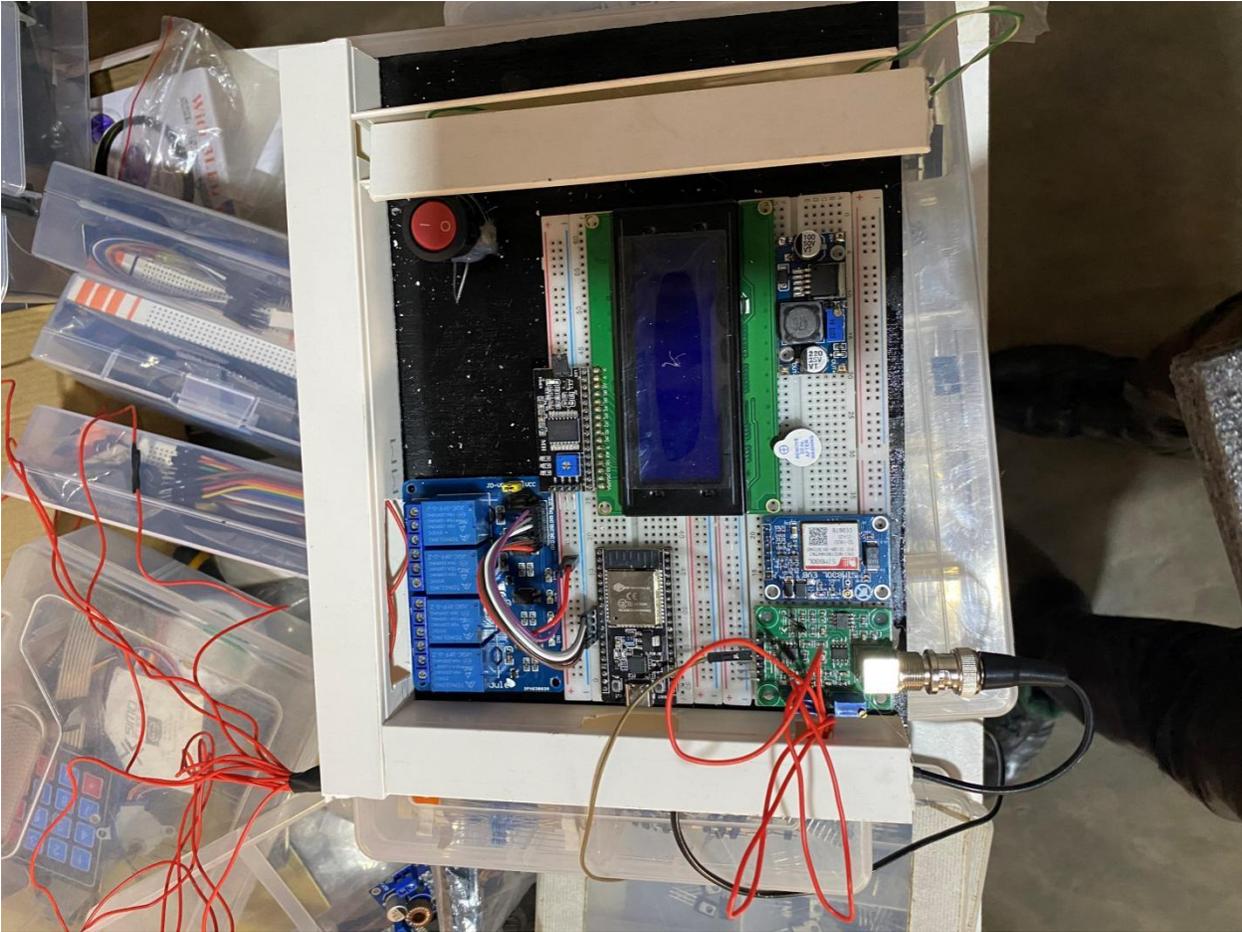
//se o tempo for 0
if(tempo_rega==0){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("fim de rega");
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("tempo de pausa");

  tempo_rega=21;
  //flag=0;
  digitalWrite(5,LOW);
  delay(3000);
```

ANEXO 3. FASE INICIAL DA CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO



ANEXO 4. MONTAGEM DO CIRCUITO



ANEXO 5. PROTÓTIPO FINAL



ANEXO 6. ESQUEMA UNIFILAR DO SISTEMA

