



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS
AGROINDUSTRIAIS-PPGSA

ALBERTO GRANGEIRO DE ALBUQUERQUE NETO

**CONTROLE E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMA HIDROPÔNICO
UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE**

POMBAL-PB
2023

ALBERTO GRANGEIRO DE ALBUQUERQUE NETO

**CONTROLE E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMA HIDROPÔNICO
UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE**

Projeto apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito à obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Everton Vieira da Silva

Linha de Pesquisa: Gestão e Tecnologia Ambiental em Sistemas Agroindustriais

POMBAL-PB
2023

A345c Albuquerque Neto, Alberto Grangeiro.
Controle e monitoramento remoto de sistema hidropônico utilizando plataformas open source / Alberto Grangeiro Albuquerque Neto. – Pombal, 2023.
53 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.
“Orientação: Prof. Dr. Everton Vieira da Silva”.

Referências.

1. Cultivo hidropônico. 2. Olericultura. 3. Arranjo tecnológico. 4. Indústria 4.0. 5. Sistema produtivo. I. Silva, Everton Vieira da. II. Título.

CDU 631.589.2 (043)

ALBERTO GRANGEIRO DE ALBUQUERQUE NETO

**CONTROLE E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMA HIDROPÔNICO
UTILIZANDO PLATAFORMAS OPEN SOURCE**

Dissertação Defendida e Aprovada pela comissão Examinadora em 27/ 02 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Everton Vieira da Silva

Prof. Dr. Everton Vieira da Silva
Orientador (Presidente da Banca)

Patricio Borges Maracajá

Prof. Dr. Patrício Borges Maracajá
Avaliador Interno

Prof. Dr. Leandro Luttiane da Silva Linhares
Avaliador Externo

POMBAL-PB
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Everton Vieira da Silva por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa e por todo apoio no decorrer do curso.

Aos meus professores do curso de Mestrado da Universidade Federal de Campina Grande, campus Pombal, pela excelência da qualidade técnica de cada um, em nome dos demais o Prof. Dr. Patrício Borges Maracajá.

Aos todos colegas servidores e discentes do IFPB campus cajazeiras que de alguma forma colaboraram dando apoio desde incentivo a participação do mestrado e também no decorrer do curso, representado pelo Prof. Dr. Leandro Luttiane da Silva Linhares.

Aos colegas Vinícios dos Santos Mangueira, Alan Carlos da Silva Ferreira e José Ramon Nunes que ajudaram na construção física do trabalho em campo.

Aos meus pais Maria Elizabete Marques de Albuquerque e José Cartaxo Filho que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória.

À minha esposa Alcineide Pereira da Costa e minha filha Ana Elizabete Pereira Grangeiro que são a razão de buscar sempre progredir.

RESUMO

Cada vez mais, pequenos e médios produtores têm aumentado a procura pelo cultivo de legumes e verduras, por se tratar de uma alternativa de renda extra consistente devido ao acréscimo acentuado da procura por produtos cultivados majoritariamente em produções ecológicas. Dentre os modelos de produção, destaca-se a hidroponia, que é bem versátil com relação à instalação e manuseio, apresentando diversas vantagens, como a não necessidade da preparação do solo e a possibilidade de instalação dela em ambientes pequenos ou inaproveitáveis para outros tipos de cultura. Para aplicações comerciais de médio e grande porte, existem alguns cuidados especiais no que tangem cálculos, os quais definem parâmetros como potências de bombas, dimensões de estufas, dentre outros. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento e controle remoto, via aplicativo móvel, para cultivo hidropônico de hortaliças através de um microcontrolador Arduino e Esp. Para tanto partimos da problemática do cultivo hidropônico e as suas atuais dificuldades inerentes a sua forma de desenvolvimento, sugerindo métodos de automação baseados em monitoramento e controle que visam amenizar ou, em alguns casos, extinguir completamente a dependência do trabalho manual e constante acompanhamento por parte do produtor. Os resultados mostraram que o cultivo da alface hidropônica com o uso do aplicativo nas condições estudadas, apresentou um excelente potencial de viabilidade, constituindo-se numa alternativa para os produtores interessados no emprego do sistema desenvolvido. No entanto, é necessário salientar a necessidade de orientação de técnicos qualificados para se obter sucesso no cultivo hidropônico e que esse projeto necessita de investimentos, no valor de aproximadamente R\$ 1.600, em relação ao valor total de uma hidroponia representa de 10 a 15% do valor, o que é relativamente baixo. Conclui-se, que a implementação do sistema de monitoramento e controle de cultivo hidropônico é viável, e possibilita um retorno a médio prazo, o que torna isso possível é o acompanhamento mais preciso e em tempo real da produção e otimização do uso dos insumos.

Palavras-Chave: Arranjo tecnológico. Indústria 4.0. Sistema produtivo.

ABSTRACT

More and more, small and medium producers have increased the demand for growing vegetables, as it is an alternative of consistent extra income due to the sharp increase in demand for products grown mostly in ecological production. Among the production models, hydroponics stands out, which is very versatile with respect to installation and handling, presenting several advantages, such as the need for no soil preparation and the possibility of installing it in small or unusable environments for other types of crops. For medium and large commercial applications, there are some special cares regarding calculations, which define parameters such as pump power, greenhouse dimensions, among others. In this sense, the present study aims to develop a remote monitoring and control system, via mobile application, for hydroponic cultivation of vegetables through an Arduino microcontroller and Esp. For this purpose we started from the problematic of hydroponic cultivation and its current difficulties inherent to its form of development, suggesting automation methods based on monitoring and control that aim to mitigate or, in some cases, completely extinguish the dependence on manual work and constant monitoring by the producer. The results showed that the cultivation of hydroponic lettuce with the use of the application under the conditions studied, presented an excellent potential of viability, constituting an alternative for producers interested in the use of the system developed. However, it is necessary to emphasize the need for guidance from qualified technicians in order to obtain success in hydroponic cultivation and that this project requires investments, in the amount of approximately R\$ 1,600, in relation to the total value of a hydroponics represents 10 to 15% of the value, which is relatively low. It is concluded that the implementation of the monitoring and control system for hydroponic cultivation is feasible, and allows a return in the medium term, what makes this possible is the more accurate and real-time monitoring of production and optimization of the use of inputs.

Keywords: Technological arrangement. Industry 4.0. Productive system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema geral do sistema hidropônico.....	15
Figura 2: Esquema simplificado do cultivo hidropônico NFT.....	17
Figura 3: Bancada de cultivo NFT.....	23
Figura 4: Bancada berçário NFT.....	24
Figura 5: Reservatório de solução nutritiva (Caixa d'água).....	25
Figura 6: Eletrobomba de drenagem.....	26
Figura 7: Esp-32 devkit v1.....	27
Figura 8: Sensor de temperatura e umidade DHT11.....	27
Figura 9: Sensor de condutividade elétrica da água.....	28
Figura 10: Sensor de pH.....	29
Figura 11: Sensor fotoresistor LDR.....	30
Figura 12: Sensor de nível.....	30
Figura 13: Sensor de temperatura de líquidos de 1820.....	31
Figura 14: A - Módulo relé de 16 canais, B - Módulo RTC real time clock.....	32
Figura 15: Válvula Solenóide.....	33
Figura 16: Página inicial da Arduino IDE.....	34
Figura 17: Pin out ESP-32.....	34
Figura 18: Arduino Nano.....	35
Figura 19: Conversor de nível lógico.....	36
Figura 20: Realtime database, ferramenta do Firebase.....	37
Figura 21: Hidroponia App.....	40
Figura 22: Alface Hidroponia App.....	40
Figura 23: Local onde o projeto foi executado.....	43
Figura 24: Planta hidropônica utilizada no cultivo.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentração de nutrientes essenciais para algumas culturas hidropônicas em g/1000 litros.....	18
Tabela 2: Custos relacionados para a execução do projeto	41

LISTA DE SIGLAS

IFPB - Instituto Federal da Paraíba

MIT - *Massachusetts Institute of Technology*

NFT - *Nutrient film Technique*

OpenAg - *Open Agriculture Initiative*

RTC - *Real Time Clock*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Geral	14
1.1.2 Específicos	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 A PLANTA HIDROPÔNICA	16
2.2 MANEJO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E PARÂMETROS DE CULTIVO	19
2.3 SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO	20
3 METODOLOGIA	22
3.1 NATUREZA E FONTES DOS DADOS	22
3.2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	25
4.2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE CONTROLE E FIRMWARE.....	35
4.3 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO MÓVEL E <i>REAL TIME DATABASE</i>	38
4.4 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO	38
4.4.1 Tecnologias Utilizadas	39
4.4.2 Framework Flutter	39
4.4.3 Linguagem Dart	39
4.4.4 Firebase	40
4.4.5 Hidroponia App	41
4.5 CUSTOS RELACIONADO AO PROJETO.....	42
4.6 EXECUÇÃO DO PROJETO.....	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICES	52
APÊNDICE A - Projeto de placa de circuito impresso e simulação no programa fritzing.	52
APÊNDICE B - Visão esquemática da interação dos componentes do protótipo.	53
APÊNDICE C - Fluxograma de funcionamento.	54

1 INTRODUÇÃO

A olericultura é um termo utilizado para designar a produção de hortaliças que são comumente chamadas de legumes ou verduras e constituem uma porção significativa da base alimentar dos brasileiros. O cultivo de hortaliças possui uma grande importância no cenário nacional, estando presente nas mais diferentes cadeias produtivas, tanto na agricultura familiar voltada para a subsistência quanto para as grandes indústrias alimentícias (PEREIRA; PEREIRA, 2016).

A preservação de recursos hídricos e produção de alimentos orgânicos são temas que tangenciam a sua relevância, principalmente por se tratar de assuntos relacionados à racionalização de recursos e a qualidade da produção agroindustrial, com o passar do tempo e o manejo inadequado poderá ocorrer questões relacionadas a improdutividade do solo devido ao empobrecimento acentuado do mesmo. Nessa perspectiva, o cultivo hidropônico promove de forma sustentável o equilíbrio entre recursos e produção em relação aos tipos de cultivo tradicionais, com uso de recursos hídricos muito menor e uma elevada produção por área, tudo isso sem utilizar o solo como meio de desenvolvimento, tendo os nutrientes necessários para a mesma em sua solução nutritiva (água mais nutrientes).

Cada vez mais, pequenos e médios produtores têm aumentado a procura pelo cultivo de legumes e verduras, por se tratar de uma alternativa de renda extra consistente devido ao acréscimo acentuado da procura por produtos cultivados majoritariamente em produções ecológicas, utilizando-se de técnicas sustentáveis de desenvolvimento. A produção orgânica é o grande destaque que vem impulsionando a produção nos últimos anos, tendo como principal foco produções desenvolvidas próximas ao mercado consumidor e mercados institucionais, como o caso das escolas, hospitais e outras repartições públicas. As mudanças de hábitos alimentares proporcionados pelas ideias de saúde e bem-estar mostram uma tendência a um crescimento acentuado nesse mercado em anos anteriores, como também, em anos consecutivos (EMBRAPA, 2018).

A estrutura de uma hidroponia é bem versátil com relação a instalação e manuseio, ela apresenta diversas vantagens, como a não necessidade da preparação do solo e a possibilidade de instalação dela em ambientes pequenos ou inaproveitáveis para outros tipos de cultura, considerando o desenvolvimento de pequenas culturas de subsistência. Para aplicações comerciais de médio e grande porte, existem alguns cuidados especiais no que tangem cálculos, os quais definem parâmetros como potências de bombas, dimensões de estufas, dentre outros.

Existem diferentes tipos de estruturas hidropônicas como o sistema NFT (*Nutrient film Technique*) que pode ser móvel ou fixo, o sistema NFT com tutoramento, o sistema semi-hidropônico, dentre outros.

A grande desvantagem do sistema hidropônico está na necessidade de atenção redobrada por parte do produtor, pois ela trabalha com o sistema de solução nutritiva. A solução nutritiva nada mais é do que o substrato com os nutrientes necessários que irá prover as plantas para o seu desenvolvimento, sendo assim, é necessário que se monitore e mantenha certos parâmetros predefinidos para as culturas a serem desenvolvidas (SOUZA, 2003).

O cultivo hidropônico não está acessível a todos por inúmeros fatores, entre eles, a falta de conhecimento técnico dos produtores. Logo, o emprego de novas tecnologias que auxiliem o agricultor na execução das atividades relacionadas a mesma pode contribuir de forma significativa para que ocorra uma facilitação em relação aos processos relacionados ao cultivo hidropônico, como o emprego de sistemas automatizados para monitoramento e controle de variáveis de ambiente e de cultivo. A forma de construção do ambiente hidropônico apresenta um ambiente adequado ao desenvolvimento de projetos relacionados à agroindústria 4.0, com aplicações que tangem desde o pequeno até o grande porte.

Segundo Souza (2003) a automação é a aplicação de técnicas eletromecânicas para a realização de uma determinada atividade, como por exemplo a utilização de robôs em uma linha de produção, podendo assim reduzir o custo de produção. Um benefício o qual se espera ser obtido tanto para pequenas, quanto para grandes produções hidropônicas, neste caso, utilizando-se sensores, é a redução do tempo que o agricultor investe para a manutenção do cultivo, podendo assim o mesmo empregar este mesmo tempo em outras atividades, além de ser possível obter dados e analisar as variáveis do cultivo ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento da cultura através de informações salvas em banco de dados.

Uma característica do cultivo hidropônico é a baixa utilização de recursos hídricos e uma elevada produção por área de plantio, analisando as diversas regiões brasileiras, pode-se concluir que o semiárido localizado na região Nordeste, apresenta características as quais seriam interessantes o desenvolvimento da mesma, pois a região em questão passa por longos períodos de estiagem durante o ano, dificultando assim a desenvolvimento agrícola. O desenvolvimento do incentivo aos produtores para a adoção do sistema hidropônico poderá favorecer a escalada econômica da região, configurando-se como uma fonte de renda e produção segura para os agricultores existentes na referida região.

Na pior das hipóteses, parâmetros inadequados podem dizimar toda uma produção, resultando em perdas econômicas ao produtor. Além dos fatores citados, existe a necessidade do controle das bombas de irrigação que farão a solução nutritiva circular pelo sistema, bombas estas que possuem horários predefinidos para o seu acionamento, assim sendo necessário uma rotina de irrigação. Entretanto, esses intervalos mudam a depender da localidade, pois os horários curtos de irrigação farão as plantas desenvolverem doenças relacionadas à umidade excessiva em suas raízes, longos horários tendem a tornarem-se insuficientes para a irrigação do vegetal, não há temporizadores adequados que “compreendam” as diversas necessidades, haja vista que estes equipamentos apenas foram fabricados para um interação temporal com dispositivos de saída, principalmente se o foco da aplicação for de proporções relativamente grandes.

Como desígnio principal deste trabalho está o desenvolvimento de um sistema de controle aplicado em um cultivo hidropônico, por meio de monitoramento e automação feito através de um microcontrolador e aplicativo móvel. O estudo visou reduzir a necessidade da presença contínua do produtor ao longo do dia, levando em consideração como principal vantagem o monitoramento dos fatores físico-químicos do material nutritivo e as características do microclima dentro da estufa, possibilitando assim um acompanhamento do processo produtivo de forma remota.

Na condição de filho de agricultor, ex-aluno e atual servidor do IFPB, um dos motivos que me levaram ao desenvolvimento deste trabalho, além da melhoria do processo de cultivo hidropônico para o agricultor, foi propiciar a criação de um nicho de trabalho relacionado a mão de obra qualificada local, uma vez que inúmeras famílias de agricultores da microrregião de Cajazeiras possuem membros da família que fizeram e fazem cursos técnicos de nível médio e o curso de tecnólogo em automação. O trabalho é uma forma de incentivar essa geração de profissionais a contribuírem com a atividade geradora de renda de suas famílias, uma vez que na nossa região não há instalação de novas indústrias. Assim esses profissionais acabam não sendo absorvidos pelo mercado de trabalho por falta de vagas e acabam não colocando sua formação em prática e partem para trabalhar em outras atividades.

Com a implementação do sistema de monitoramento e controle há uma demanda por assessoramento e implementação de melhorias no sistema, os profissionais qualificados poderão dar esse suporte e até mesmo auxiliar seus familiares que desejem trabalhar nessa área.

Foi desenvolvido no trabalho um protótipo que se comunica com periféricos de entrada, sensores de pH, condutividade, temperatura e umidade, com periféricos de saída eletrobombas

de drenagem, eletroválvulas, umidificador, e com sistema de banco de dados. Esse protótipo composto por eletrônicos e microcontroladores, faz o envio de informações para plataforma *firebase* que possibilita o acesso as informações remotas via aplicativo, este desenvolvido na plataforma *Flutter*.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Desenvolver um sistema de monitoramento e controle remoto para cultivo hidropônico de hortaliças.

1.1.2 Específicos

- ✓ Construir planta hidropônica;
- ✓ Confeccionar eletrônica embarcada integrada ao controlador;
- ✓ Parametrizar sensores de pH e condutividade;
- ✓ Sincronizar dados em banco de dados *Firestore* da Google;
- ✓ Desenvolver aplicativo para acesso remoto ao sistema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As pesquisas conexas ao tema, hidroponia, iniciaram antes do século XX. O termo se originou do grego, onde a palavra “hidro” significa água e o “ponos” significa trabalho. A combinação dessas palavras resulta em “trabalhar com água”, ficando explícito a utilização de uma solução nutritiva, buscando viabilizar o cultivo das plantas sem o uso do solo (CRUZ et al., 2022).

Para Silva *et al.*, (2018) trata-se da denominação de um tipo de cultivo que não se utiliza o solo, sendo substituído por uma solução nutritiva de apoio. Douglas (1997) diz que o primeiro uso comercial de produtos hidropônicos é datado da década de 1960, no Canadá, quando a produção de tomates foi devastada por doenças propagadas pelo solo.

A hidroponia é uma técnica que se encontra em amplo desenvolvimento nos dias atuais, diferentemente do que muitos pensam, o cultivo hidropônico não é somente importante pelo fato de oferecer uma técnica de produção sustentável, mas também pela possibilidade de resolver problemas que incluem tratamentos que reduzem a contaminação do solo de aquíferos e a manipulação dos níveis de nutrientes do vegetal (SILVA & MELO, 2016).

Em época de pandemia, o agronegócio brasileiro foi um dos poucos setores que obtiveram crescimento em 2020, provavelmente atribuído ao aumento de produtividade relacionada a essas atividades. Os massivos investimentos no setor em tecnologias e métodos mais eficientes tornaram a área mais rentável e competitiva. Há algumas décadas, as primeiras utilizações de tecnologia no cultivo tornaram os campos mais padronizados, assim reduzindo os custos. Neste âmbito surge o conceito de agroindústria 4.0, que é um ambiente de trabalho integrado onde pessoas, tecnologias e máquinas atuam, assim, maximizando drasticamente a produção e organização do setor agrícola (ISYSTEMS, 2021).

Ribeiro, Marinho e Espinosa (2021) citam a inserção do cultivo hidropônico na agroindústria 4.0 como um exemplo bastante eficiente e até mesmo curioso, evidenciando um sistema hidropônico integrado com energia solar e processo de dessalinização da água do mar para posterior utilização nela, ideal para regiões desérticas.

Couto (2019) cita que o Brasil é um dos países que mais investe na chamada agricultura de precisão, que é o tipo de técnica que utiliza métodos e tecnologias avançadas para o desenvolvimento dos cultivos. Visando melhoria no processo produtivo, foi desenvolvido um sistema hidropônico que utiliza técnicas produtivas da agroindústria 4.0, assim, atendendo o objetivo de auxiliar os produtores rurais no respectivo cultivo.

Os exemplos e trabalhos citados, evidenciam o potencial de crescimento do cultivo hidropônico na agroindústria 4.0, melhorando assim sua competitividade e produtividade, tendo um nítido retorno ambiental. Dessa maneira, o desenvolvimento de estudos relacionados a esta técnica de cultivo que utiliza estas novas tecnologias, é uma tendência do setor, o que evidencia a importância da busca pela otimização da qualidade de produção e prover a redução de custos tanto para o produtor, como para o consumidor final, fomentando-se assim, o acesso à alimentos de qualidade e a confiabilidade neste tipo de cultivo.

2.1 A PLANTA HIDROPÔNICA

Existem diferentes tipos de arranjos hidropônicos, sendo que as mais diversas estruturas possuem vantagens e limitações a depender do tipo de cultivo exigido. Na figura 1 é possível visualizar o esquema geral de uma planta hidropônica comercial, em que pode ser visto duas áreas principais: a estufa onde fica as bancadas de produção e a casa de máquinas, que é o local adequado para manter os reservatórios de solução nutritiva e as bombas que realizarão o bombeamento da mesma.

Figura 1: Esquema geral do sistema hidropônico



Fonte: Hickmann e Lopes (2020).

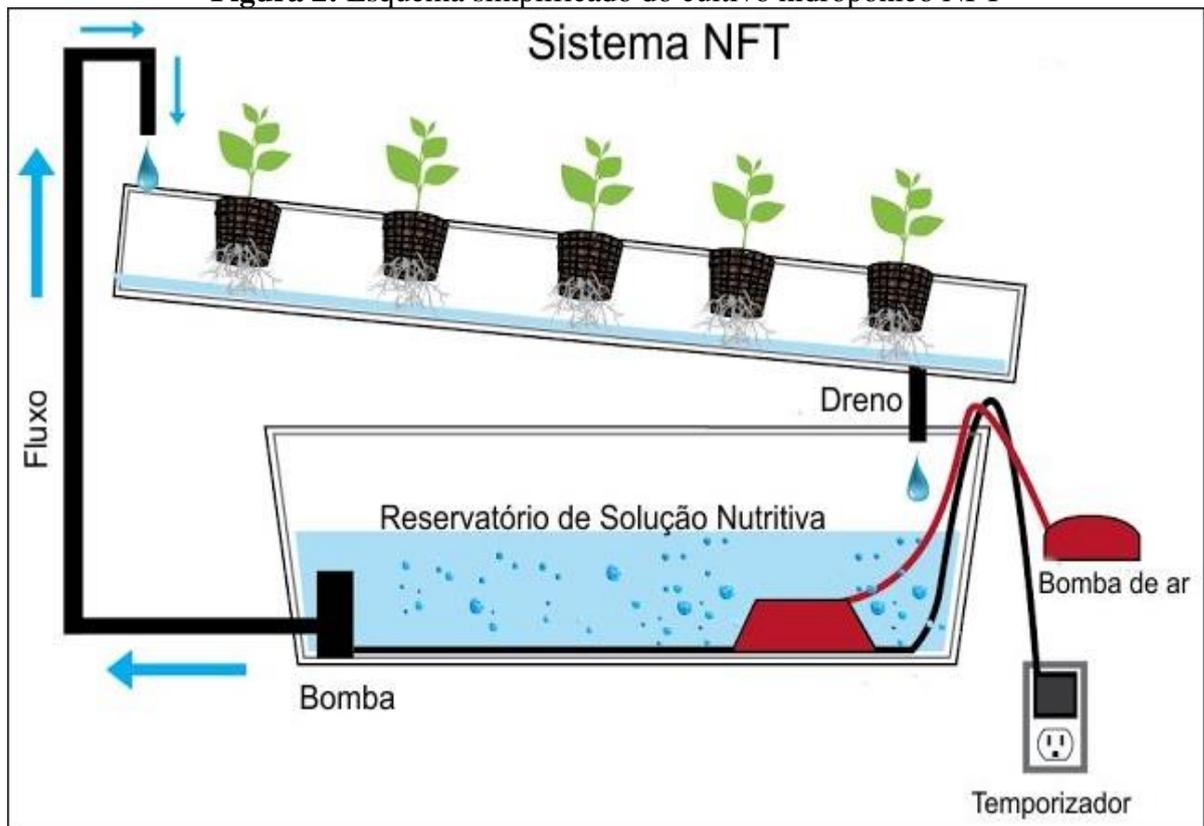
Hickmann e Lopes (2020) classificam os principais sistemas hidropônicos existentes atualmente como:

1. Sistema NFT (*Nutrient Film Technique*) um dos principais e mais populares tipos de cultivo hidropônico existentes, em que a parte superior dos perfis entra a solução nutritiva e após percorrer toda a extensão do perfil hidropônico, ela é recolhida por gravidade e pode ser de perfis móveis ou fixos. Sistema esse escolhido como laboratório de campo;
2. Sistema aeropônico: trabalha com um sistema de pulverizações na raiz onde são injetados nutrientes mais água, no sistema aeropônico as raízes ficam suspensas no ar e a água é direcionada para as mesmas;
3. Sistema *floating*: as culturas são imersas em um sistema praticamente estacionário de nutrientes e água, as mesas ficam flutuando sobre uma camada espessa de solução nutritiva essa característica torna a cultura menos suscetível a problemas como a queda de energia elétrica, porém, demanda um pouco mais de mão de obra tendo em vista que o sistema em si é uma espécie de piscina para as plantas;
4. Sistema semi-hidropônico: a raiz dos vegetais são protegidas por um substrato que é ensacado e possui um sistema de irrigação interno, é mais indicado para cultivo de frutas como morango ou tomate, já que o substrato que envolve a raiz oferece ao vegetal um suporte maior para o desenvolvimento da mesma.

Nesta pesquisa, os esforços para o desenvolvimento do sistema automatizado foram focados no sistema de produção hidropônico NFT, pois ele representa 90% dos sistemas hidropônicos presentes no país. O desenvolvimento dessa técnica se deu na década de 1965 na Inglaterra por Allen Cooper. O sistema NFT é o mais bem adaptado para o cultivo de plantas folhosas como alface e coentro (HIDROPONIA, 2021).

A construção do sistema consiste em um conjunto de tubos, os quais são chamados de perfis, que estão dispostos em uma certa angulação para favorecer o fluxo de solução nutritiva e o consequente retorno por gravidade aos reservatórios que se encontram dispostos na parte mais baixa das bancadas. Nos reservatórios, por sua vez, são conectadas as bombas para a realização do bombeamento da solução nutritiva para a parte superior dos perfis hidropônicos, assim fechando o ciclo de irrigação dele (HIDROGOOD, 2017). A figura 2 mostra um esquemático simplificado do sistema NFT.

Figura 2: Esquema simplificado do cultivo hidropônico NFT



Fonte: Brasil, 2021.

Brasil (2021) cita diversas vantagens e desvantagens do sistema hidropônico NFT que convém serem aqui explanadas, como vantagens principais, temos:

1. Crescimento rápido e rendimento maiores;
2. Simplicidade no modo de operação;
3. Eficiência no uso da água;
4. Absorção precisa quanto aos nutrientes;
5. Menos pragas, devido à ausência de solo e conseqüentemente locais de proliferação.

Quanto às desvantagens vale ressaltar:

1. Necessidade de energia elétrica;
2. Requer mão de obra especializada;
3. Maior dedicação de tempo para o manejo das culturas.

Apesar das desvantagens serem reduzidas, porém, bem expressivas, o cultivo hidropônico ainda apresenta uma relação superior de custo/benefício em relação aos métodos convencionais de cultivo de vegetais.

2.2 MANEJO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E PARÂMETROS DE CULTIVO

Para o desenvolvimento das culturas é necessário que elas sejam irrigadas com a utilização de uma solução especialmente preparada para o vegetal que será cultivado, levando-se sempre em consideração a qualidade da água e dos sais a serem utilizados, outros fatores como acidez, temperatura e oxigenação necessitam de cuidados constantes. Após a definição dos macros e micro nutrientes que serão utilizados no preparo da solução, eles são dissolvidos na água e inseridos no sistema (CARRIJO; MAKISHIMA, 2000). A tabela 01 apresenta a concentração de nutrientes essenciais em g/1000 litros de água para algumas culturas.

Tabela 1: Concentração de nutrientes essenciais para algumas culturas hidropônicas em g/1000 litros.

Sal (g/1000 litros.)	Alface	Tomate	Pimentão	Pepino	Morango	Melão
Nitrato de cálcio	950,00	900,00	650,00	960,00	700,00	900,00
Nitrato de potássio	900,00	270,00	506,00	486,00	303,00	455,00
Sulfato de potássio		122,00				22,00
Fosfato de potássio	272,00	272,00	170,00	245,00	204,00	170,00
Cloreto de potássio		141,00				
Sulfato de magnésio	246,00	216,00	246,00	418,00	246,00	246,00
Nitrato de magnésio		228,00	50,00			
Sulfato de manganês	1,70	4,23	1,70	4,23	1,70	2,54
Sulfato de zinco	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Sulfato de cobre	0,19	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Moliodato de sódio	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Bórax	2,85	1,90	2,40	1,90	1,90	1,90
Fe - EDTA	50,00	43,00	37,00	43,00	25,00	22,00

Fonte: Carrijo e Makishima, (2000).

A temperatura ideal da solução nutritiva gira em torno de 18 a 25 °C, temperaturas muito acima ou abaixo dessas podem prejudicar o desenvolvimento das plantas. Também é necessário manter a solução oxigenada, pois esta característica é capaz de aumentar a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes (HYDROPONICS, 2019).

Hickmann e Lopes (2020), diz que as principais variáveis a serem monitoradas são a condutividade elétrica e os valores de pH. Ressalta que se o valor de pH estiver acima de 7,0, ele é considerado elevado e neste nível pode ocorrer a precipitação de nutrientes deixando as plantas mais suscetíveis a doenças, caso os valores de pH estiver abaixo de 5,5 podem ocorrer distúrbios nutricionais como a baixa concentração de nitrogênio. Com relação aos dados relacionados à condutividade elétrica, eles podem variar dependendo da cultura, como por exemplo, para a cultura da alface é considerado uma condutividade elétrica de 1,5 mS/cm podendo baixar até 1,2 mS/cm, já para a rúcula é considerado 1,7 mS/cm e para o tomate 2,5 mS/cm.

2.3 SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO

As pesquisas focadas no desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento de sistemas hidropônicos são recentes, elas vêm sendo impulsionadas pelo rápido desenvolvimento tecnológico da agroindústria na última década. A pesquisa de como a de Brito *et al.*, (2015) desenvolveu um sistema automatizado para o controle de variáveis de ambiente em sistemas hidropônicos, utilizando uma pequena planta hidropônica com três tubulações de 10 cm de diâmetro por 70 cm de comprimento, mostrando que através do controle do ambiente foi possível maximizar as vantagens da hidroponia proporcionando condições ideais para mesma. Devido a pequena dimensão do sistema, a mesma apresentou um custo considerável para a manutenção do sistema automatizado, porém é citado que a longo prazo, mesmo em um pequeno sistema o mesmo se provará viável.

Mehra e Saxena (2018) criaram um sistema hidropônico inteligente baseado em IoT, empregando redes neurais, utilizando-se de microcontroladores como o *Raspberry pi* e o *Arduino*, dispendo de sensores bem conhecidos pela comunidade de desenvolvimento, como é o caso do sensor de temperatura e umidade DHT11 e o módulo de foto resistência LDR, os autores ressaltam que com o sistema em funcionamento foi possível obter uma maior precisão com o manejo da cultura, devido ao fato da mesma trabalhar com o aprendizado de máquina e poder se adaptar às circunstâncias do ambiente em que se encontrava.

Outro estudo foi criado a partir de uma iniciativa no *Massachusetts Institute of Technology (MIT) Media Lab* em um projeto *open source* denominado de *MIT Open Agriculture Initiative (OpenAg)* em 2015, foi desenvolvida a plataforma *Food Computers*, para controle e monitoramento agrícola em sistemas hidropônicos. A tecnologia possui diversos

sensores que monitoram o clima interno de uma câmara de cultivo, permitindo o ajuste destas variáveis de acordo com as necessidades da planta. O kit pode custar entre 4000 a 5000 dólares, e conta com uma pequena cabine totalmente isolada, com automatização de luz, ventilação, controle de água, nutrientes e espaço para cultivo 7 a 12 plantas (DOMINGOS, 2019).

Apesar de existirem já algumas soluções no mercado capazes de automatizar e satisfazer as necessidades do cultivo hidropônico, estas aplicações possuem um custo alto de adesão, e pouca possibilidade de expansão para os cenários de grande escala.

3 METODOLOGIA

3.1 NATUREZA E FONTES DOS DADOS

Quanto ao método científico, o desenvolvimento deste estudo baseou-se no método hipotético dedutivo, partindo-se da problemática do cultivo hidropônico e as suas atuais dificuldades inerentes a sua forma de desenvolvimento, sugerindo métodos de automação baseados em monitoramento e controle que visam amenizar ou, em alguns casos, extinguir completamente a dependência do produtor do trabalho manual.

Quanto à natureza e objetivo, a pesquisa se enquadrou como experimental e explicativa, pois faz uso de conhecimento prévio, e aplica a experimentação prática buscando uma melhoria de processo e fazendo uso de registros de trabalhos anteriores, além do uso dos métodos observacionais.

Em relação ao procedimento, destacam-se o bibliográfico, necessário para levantamento das informações pertinentes ao processo; experimentação, visto que a construção da mini estação de cultivo tem a função de laboratório de experimentos do processo e comparação de métodos; estudo de caso-controle, levando em consideração os principais fatores condicionantes do processo; levantamento de campo realizado em oportunidades anteriores necessárias para entender as reais necessidades do dia a dia do campo hidropônico.

A abordagem quali-quantitativo é a forma utilizada para análise dos dados, uma vez que os dados são o objeto de estudo e como essas informações serão estudadas a fim de se alcançar a melhor relação de interação entre método de cultivo e comunicação do sistema.

Baseando-se em pesquisas e experiências anteriores foi confeccionado um protótipo que busca a melhoria do processo de cultivo hidropônico, otimizando-se assim a sua produção.

É notório que um dos grandes tabus do cultivo hidropônico gira em torno do manejo da solução nutritiva, além da grande falta de informação sobre as técnicas necessárias para tal, um sistema automatizado e responsivo poderá reduzir em boa parte a dependência desse conhecimento técnico obrigatório, além de auxiliar o produtor com a forma que ele o utiliza para gerenciar o seu tempo.

Partindo-se de outros trabalhos na área já desenvolvidos sobre cultivo, manejo e até mesmo outros tipos de sistemas autônomos, buscou-se fortalecer a base de conhecimentos científicos que embasaram de modo satisfatório a pesquisa aqui a ser desenvolvida. Partindo de

experimentos que foram recriadas as condições necessárias para o cultivo adequado na região semiárida, buscou-se adaptá-la ao local.

Foi necessário a realização de estudos de caso que possibilitou o desenvolvimento adequado do sistema das bancadas hidropônicas e do sistema de controle a ser utilizado, de modo que eles se adequem aos objetivos. A realização de estudos de campo na região foi fundamental para realizar o levantamento dos métodos cultivos hidropônicos, assim, elaborando as melhores soluções possíveis para o desenvolvimento do sistema automatizado.

3.2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O sistema é composto de duas partes principais: o *hardware* e o *software*. O *hardware* é a parte física do sistema, que inclui os microcontroladores Arduino e ESP-32, além de sensores e dispositivos de acionamento. Esses componentes trabalham juntos para coletar informações sobre as condições relevantes para o cultivo. Essas informações são processadas pelo *software*, que é o conjunto de instruções pré-programadas adicionadas aos microcontroladores. Para enviar as informações adquiridas para o banco de dados do Google *Firebase*, é necessário a conexão com a internet que é realizada no momento que o sistema inicia.

Os procedimentos metodológicos aqui realizados consistem em uma série de etapas interdependentes de vital importância no desenvolvimento do protótipo final, que foram assim divididas:

- Instalação de laboratório hidropônico: Construção da estufa e montagem das bancadas;
- Projeto de protótipo de controle: Que compreende o modo como todas as funcionalidades pretendidas estarão presentes dentro do sistema proposto;
- Montagem e instalação da eletrônica embarcada: Confecção da placa de circuito impresso e montagem dos dispositivos utilizados;
- Comunicação com banco de dados: Configuração do banco de dados *Firebase* e instituir a comunicação de informações;
- Desenvolvimento do app e comunicação: Desenvolvido com foco no sistema operacional *Android* apresentando as informações coletadas no cultivo concomitantes com o banco de dados utilizado.

Os dados armazenados do sistema são: temperatura, umidade do ar, luminosidade, todos os anteriores referente ao microclima da estufa. Além desses citados temos: pH, condutividade e temperatura esses relacionados ao composto nutritivo.

Uma vez com os dados armazenados no banco de dados, o aplicativo desenvolvido para ser a interface de acesso do produtor, recebe as informações desse banco de dados e apresenta para o agricultor em tempo real os dados da produção e ambiente interno da estufa hidropônica, emitindo alerta para as situações que não podem ser mitigadas automaticamente, possibilitando uma ação rápida em campo.

Na confecção do hardware e desenvolvimento do software foram utilizados componentes de baixo custo, na medida do possível, de modo a elevar a relação do custo benefício do sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

A planta hidropônica da pesquisa está estruturada em três bancadas de cultivo, dispostas em cavaletes e inclinadas em cerca de 15°, declividade necessária para que a solução nutritiva percorra os perfis e retorne ao reservatório por gravidade em uma velocidade adequada. Cada bancada possui nove perfis cultiváveis com 9,0 metros de comprimento e 1,60m de largura (considerando a largura dos perfis e espaçamento entre eles), possuindo reservatórios individuais de solução nutritiva, conforme pode ser observado na representação da Figura 3.

Figura 3: Bancada de cultivo NFT



Fonte: Autor, 2022.

Uma das bancadas é a do tipo berçário, a qual é adaptada com perfis relativamente estreitos, tendo como principal funcionalidade o recebimento das plantas com 9 a 11 dias após a germinação. Após atingirem o tamanho adequado, elas são transplantadas do berçário para as bancadas de desenvolvimento, onde atingirão o tamanho comercializável.

Abaixo na figura 4 podemos visualizar a montagem delas em que fica evidente as menores dimensões da sua estrutura.

Figura 4: Bancada berçário NFT



Fonte: Autor, 2022.

Ainda para compor os itens básicos que constituem uma hidroponia, tem-se o reservatório de solução nutritiva (Figura 5), que neste caso foi feito a partir de um reservatório caixa d'água, nele foi acoplado a bomba responsável por fazer a circulação da solução e sensores diversos tais como o sensor de nível, de temperatura de líquidos, de pH e condutividade, cada um com sua funcionalidade específica.

Figura 5: Reservatório de solução nutritiva (Caixa d'água)

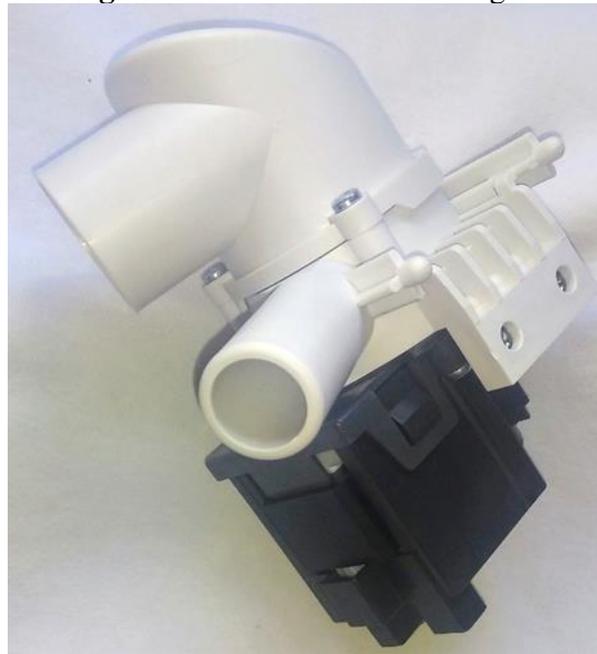


Fonte: Autor, 2022.

Para o bombeamento da solução nutritiva foram utilizadas Eletrobombas de drenagem com vazão 1000 L/h, também conhecida como eletrobomba d'água. Geralmente em grandes produções hidropônicas utiliza-se uma única bomba por grupos de bancadas, fazendo distinção apenas nas bancadas de berçário, em que a concentração de nutrientes na solução é diferente da concentração utilizada nas outras bancadas. Com isso, haverá um reservatório específico com uma bomba específica.

No entanto, neste estudo, as bancadas são individualizadas, cada uma possuindo seu próprio reservatório e bomba, pois adquirir três pequenas bombas mostrou-se mais rentável, baixo custo e fácil aquisição no mercado, do que adquirir duas de potência elevada, uma vez que mesmo utilizando um equipamento de potência maior, a planta hidropônica ainda irá necessitar de duas bombas obrigatoriamente, pois teria que haver uma específica para a bancada berçário.

Na figura 6 é possível visualizar o modelo de bomba que foi utilizada para a referida finalidade.

Figura 6: Eletrobomba de drenagem

Fonte: Autor, 2022.

Quanto ao microcontrolador que foi utilizado para as lógicas de comando, é relevante compreender a quantidade de microcontroladores e sensores existentes no mercado, dentre as opções disponíveis possuem o Arduíno e a *Raspberry*. Entretanto, é necessário a utilização de um dispositivo que apresente conectividade ininterrupta e elevada capacidade de processamento, além da viabilidade econômica. Logo, tem-se como opção considerável a Esp-32 (Figura 7), um poderoso microcontrolador que possui receptor e transmissor via *bluetooth* e *wi-fi* integrados em sua estrutura, podendo ser programado com facilidade usando diversas ferramentas de ambiente de desenvolvimento integrado gratuitas, estas características a tornam importantes no desenvolvimento das atividades.

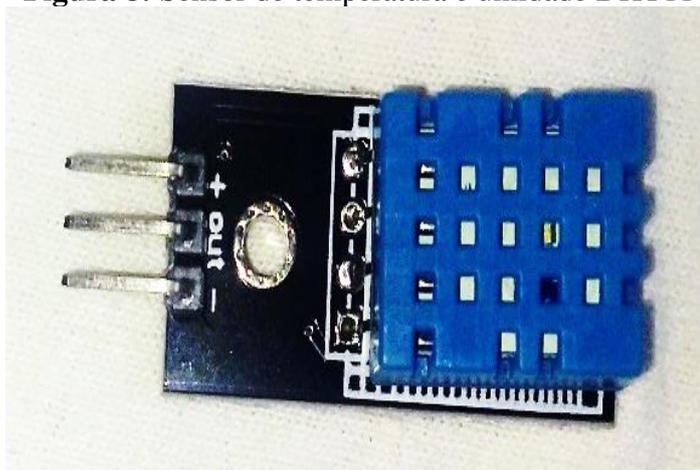
Figura 7: Esp-32 devkit v1

Fonte: Autor, 2022.

O monitoramento das variáveis do ambiente tais como, temperatura do ambiente, umidade do ar, nível de acidez da solução nutritiva (pH), condutividade elétrica da solução nutritiva, luminosidade do ambiente, nível dos reservatórios e temperatura da solução nutritiva. foi realizado por sensores acoplados ao sistema.

O sensor de temperatura e umidade DHT11, (Figura 8), tem a função de obter os dados dentro da estufa, que se justifica em função de obter dados para fornecer às plantas as condições ideais de cultivo. Assim, por exemplo em dias quentes a frequência de irrigação poderá ser aumentada para poder refrescar as raízes dos vegetais combatendo dessa forma, a elevada taxa de evapotranspiração. A temperatura também poderá ser controlada com um sistema de nebulização que agirá refrescando as plantas por via aérea. Neste caso, na pesquisa optou-se pela primeira alternativa pois, o sistema nebulizador implica em maiores custos para sua implementação.

Figura 8: Sensor de temperatura e umidade DHT11

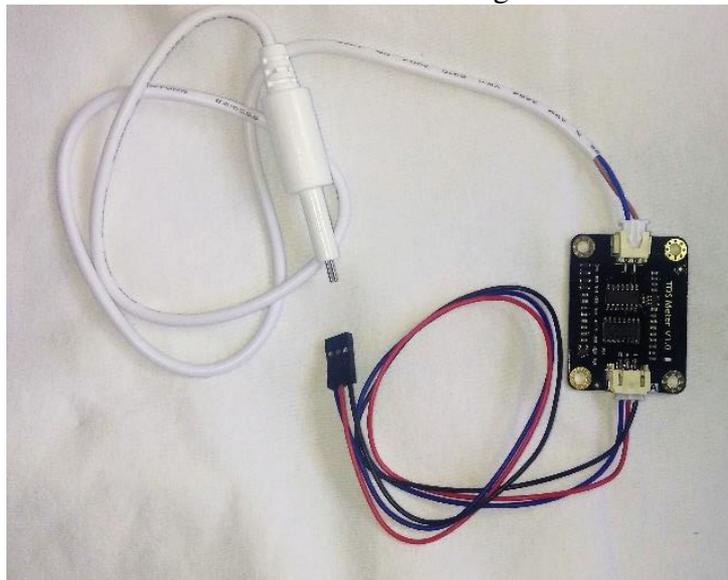


Fonte: Autor, 2022.

Com relação à condutividade da solução nutritiva, é um parâmetro que varia dependendo da cultura a ser cultivada, (como foi dito no início desta seção), um sensor de condutividade deverá ser instalado em cada um dos reservatórios da solução nutritiva (no total três), para que os dados sejam interpretados pelo microcontrolador. Neste caso, o papel do microcontrolador será de notificar o produtor em caso de alteração prejudicial à cultura hidropônica, fazendo-se necessário o trabalho manual para que os valores sejam corrigidos via manejo de nutrientes.

Apesar do sistema não implementar uma correção automaticamente, o sistema de notificações irá garantir que o produtor faça o reajuste da solução nutritiva apenas no momento que for necessário, economizando assim, tempo para que o agricultor possa empregar em outras atividades. Na figura 9 podemos visualizar o sensor de condutividade empregado neste estudo.

Figura 9: Sensor de condutividade elétrica da água modelo TDS Meter V1.0



Fonte: Autor, 2022.

Diariamente, tende a ocorrer a modificação do nível de acidez da solução nutritiva, o que pode vir a prejudicar o desenvolvimento das culturas. Neste caso, é necessário que se realize o ajuste. O nível de pH ideal é variável entre 5,5 a 6,5, (no caso da cultura da alface). À medida que as plantas forem se desenvolvendo, esse valor tende a sair do intervalo informado, após a absorção dos nutrientes presentes.

Para saber quando deve ser realizado o reajuste, foi instalado um sensor de pH no reservatório de solução nutritiva. O pH está diretamente ligado ao manejo dos nutrientes da solução nutritiva, neste caso o condutivímetro e o pHmetro são sensores complementares, pois ambos estarão inseridos na solução nutritiva. Isso se faz necessário, pois mesmo com um dos parâmetros adequados ao cultivo, o segundo pode não ser atendido, necessitando de correção.

A presença destes dois sensores garantirá que os nutrientes da solução não sejam prejudiciais e possam garantir uma melhor produtividade.

Na figura 10 é possível visualizar o modelo de sensor de pH utilizado nessa pesquisa.

Figura 10: Sensor de pH modelo PH-4502C



Fonte: Autor, 2022.

Para garantir que a incidência de luminosidade esteja dentro dos padrões, foi utilizado um sensor de luminosidade LDR. Aferir a luminosidade dentro da estufa é importante, visto que o cultivo necessita de exposição a luz do sol para o desenvolvimento adequado, caso não esteja em conformidade com os parâmetros definidos, excesso de sombreamento, o produtor terá que providenciar uma adequação na tela protetora, por exemplo, tendo de substituí-la por outra de menor densidade. Abaixo na figura 11 temos a imagem do LDR que foi utilizado.

Figura 11: Sensor fotoresistor LDR



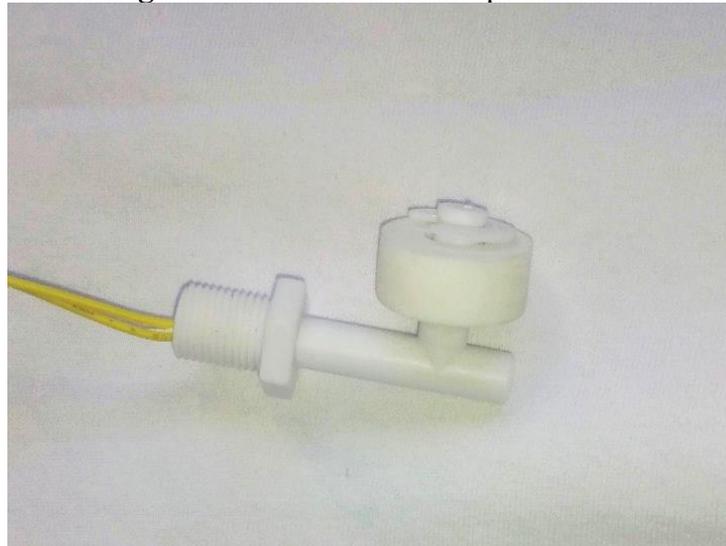
Fonte: Autor, 2022.

Hickmann e Lopes (2020) relatam em sua pesquisa que o nível de água dos reservatórios tende a ser alterado, pois durante o dia as plantas absorvem nutrientes e água, assim a solução nutritiva fica mais salinizada e é necessário passar por reajustes.

Na prática, existirá dias com maiores níveis de insolação e significativamente reduzida. No segundo caso, a evapotranspiração também será reduzida, com isso o nível do reservatório

de solução nutritiva vai ser pouco alterado. No entanto, faz-se necessário saber se o nível do reservatório não foi reduzido de forma preocupante, tendo em vista que quanto menor o nível maior a salinização da solução, para aferir este dado foram utilizados sensores de nível de tanques (Figura 12) que traduz ao usuário esta informação.

Figura 12: Sensor de nível tipo boia 90°



Fonte: Autor, 2022.

Ainda no quesito monitoramento, é possível citar a utilização do sensor de temperatura de líquidos ds18b20, trata-se de um sensor prático e de boa qualidade que pode ser submergido em líquidos, ele será responsável por monitorar a temperatura da solução nutritiva, já que ela pode variar dependendo do ambiente em que se encontra.

Além de determinar a temperatura em tempo real dentro da solução nutritiva, o sensor de temperatura ds18b20 também irá atuar como um fator de correção para o sensor de condutividade elétrica da água, uma vez que esse parâmetro pode alterar conforme variação da temperatura.

Na figura 13 destaca o modelo do sensor de temperatura ds18b20 utilizado nesse estudo.

Figura 13: Sensor de temperatura de líquidos ds18b20



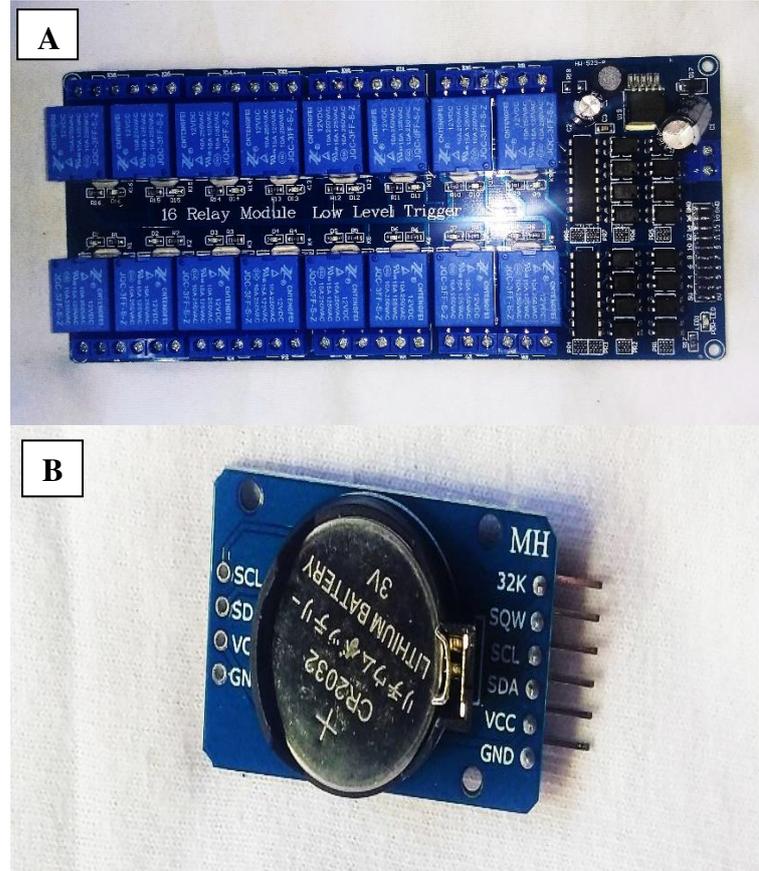
Fonte: Autor, 2022.

Além dos componentes principais citados até aqui (sensores atuadores), convém mencionar também outros componentes menores que auxiliaram na montagem dos componentes elétricos, como é o caso por exemplo dos módulos relés (Figura 14 A), que são indispensáveis no controle de cargas.

Neste caso, o controle das bombas que farão o bombeamento da solução nutritiva, também foi utilizado um módulo RTC (*Real Time Clock*) – Figura 14 B, que possui um relógio integrado alimentado por uma bateria, que é responsável por fornecer os horários exatos, permitindo o acionamento das bombas em horários pré-selecionados.

O uso do RTC proporciona certas comodidades, como por exemplo em casos como falta de energia ou internet, pois devido a própria bateria do módulo, o seu relógio interno permanece contando, sendo assim, quando a eletricidade for restabelecida o módulo enviará a hora correta para o microcontrolador, logo ele pode dar continuidade a rotina de irrigação a partir do momento do restabelecimento elétrico.

Figura 14: A - Módulo relé de 16 canais, B - Módulo RTC *real time clock*



Fonte: Autor, 2021.

A germinação das sementes é uma etapa fundamental, para tal, é utilizado um local específico chamado de mesa de germinação. A mesa de germinação irá acomodar as sementes das culturas nos seus primeiros dias de desenvolvimento para após serem transplantadas para a bancada berçário. É necessário que seja mantida a umidade do ambiente para que elas não ressequem.

O reservatório de solução nutritiva por sua vez, será realimentado sempre que necessário para que ele não tenha o seu nível reduzido em grandes medidas, pois isso poderia comprometer os parâmetros da solução nutritiva. Por isso, como forma de manter a irrigação da mesa de germinação e realizar o complemento do nível do reservatório de solução nutritiva, será utilizado válvulas solenoides que serão acionadas sempre que se fizer necessário para ocorrer o ajuste das condições especificadas, cujo modelo está apresentado na Figura 15.

Figura 15: Válvula Solenoide de entrada de água 180° ¾”

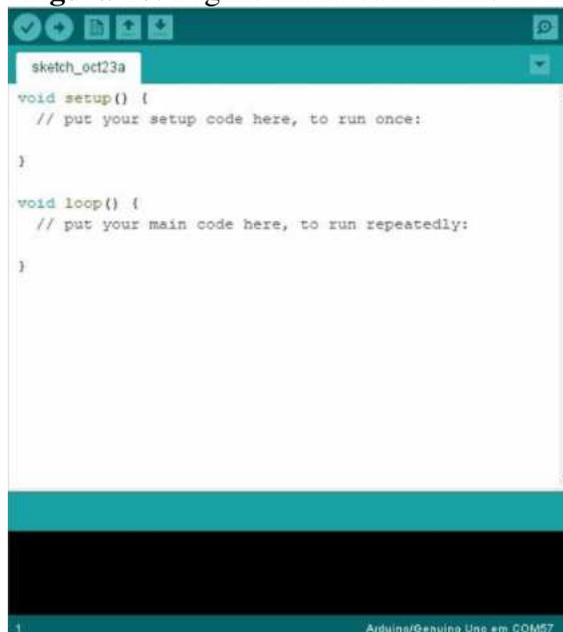


Fonte: Autor, 2022.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE CONTROLE E FIRMWARE

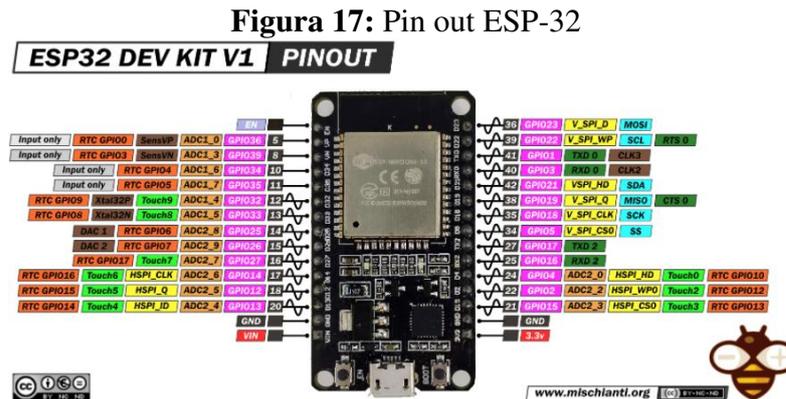
De posse dos materiais necessários, foi dado início a montagem do protótipo de controle, que conta com um microcontrolador ESP 32 que comandará todas as operações. Para a realização da sua programação foi utilizada a Arduino IDE, uma plataforma *open source* de código aberto escrita na linguagem de programação Java. A Arduino IDE permite que o programador utilize a linguagem de programação C/C++, que é bastante conhecida e utilizada cotidianamente. Na Figura 16 destaca-se a página inicial da Arduino IDE.

Figura 16: Página inicial da Arduino IDE



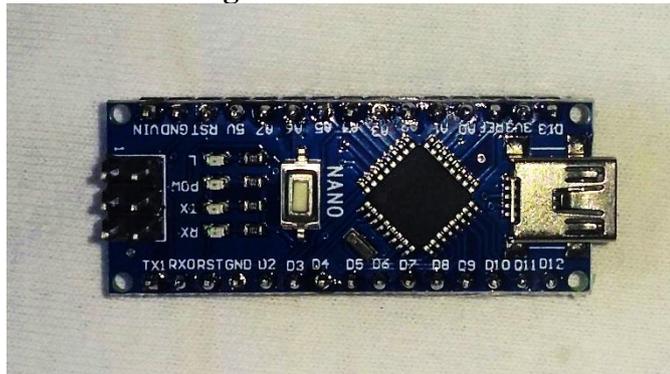
Fonte: Autor, 2022.

A placa de desenvolvimento ESP 32 Devkit V1, que foi utilizada, tem a função de facilitar os trabalhos com o microcontrolador ESP 32, com uma sequência de pinos de fácil acesso e que podem ser bem utilizados com o auxílio de jumpers para facilitar as conexões com sensores e módulos. Ele possui 30 pinos que incluem GPIO's, pinos de alimentação e de comunicação. Na figura 17 é possível visualizar o *pin out* de conexões dos ESP 32 Devkit V1.



Para a montagem do protótipo houve a necessidade de um método de leitura diferente para os sensores de pH e condutividade, pois eles apresentam imprecisões de leitura, assim, podendo vir a fornecer informações distorcidas. Como solução para este problema foi estudada a possibilidade de integração entre plataformas, mas especificamente entre os microcontroladores ESP 32 e Arduino. Verifica-se que no microcontrolador Arduino os sensores funcionam normalmente, contudo, as placas mais simples e de baixo custo não possuem conectividade *wifi* que para este projeto é de fundamental importância. Como forma de solucionar este impasse foi feita a programação específica dos dois sensores na placa Arduino Nano, placa pequena de baixo custo que não apresenta muitos recursos adicionais, mas, espera-se que seja suficientemente capaz de suprir as necessidades.

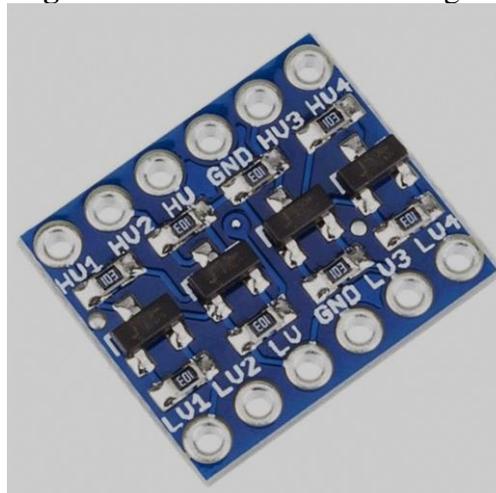
Também foi desenvolvida a comunicação serial entre placa ESP 32 e Arduino Nano por meio dos pinos de comunicação serial Rx e Tx (receptor e transmissor de informações respectivamente), que estão presentes em todos os modelos de placas microcontroladoras, facilitando-se a implementação da solução do problema. A figura 18 destaca a placa microcontroladora Arduino Nano que foi utilizada no projeto.

Figura 18: Arduíno Nano

Fonte: Autor, 2022.

Vale ressaltar que o nível de tensão de operação das duas placas microcontroladoras a serem utilizadas no projeto, a placa microcontrolada ESP 32 trabalha com tensões em seus pinos GPIO de 3.3 Volts, enquanto a placa Arduíno Nano trabalha com uma tensão de operação de 5 Volts em seus pinos, dessa forma, como tratam-se de circuitos sensíveis, sendo necessário a utilização de um conversor de nível lógico bidirecional para que os níveis de tensão possam ser elevados para 5 Volts (do lado do Arduíno) e reduzidos para 3.3 Volts (do lado da ESP 32), para não danificá-los e garantir que os sinais lógicos de informação chegassem sem perdas em ambos os lados.

Na Figura 19, é possível observar o conversor lógico bidirecional que permite que essa conexão seja realizada sem a necessidade de uma montagem um pouco mais complexa, como o caso da utilização de um circuito divisor de tensão.

Figura 19: Conversor de nível lógico

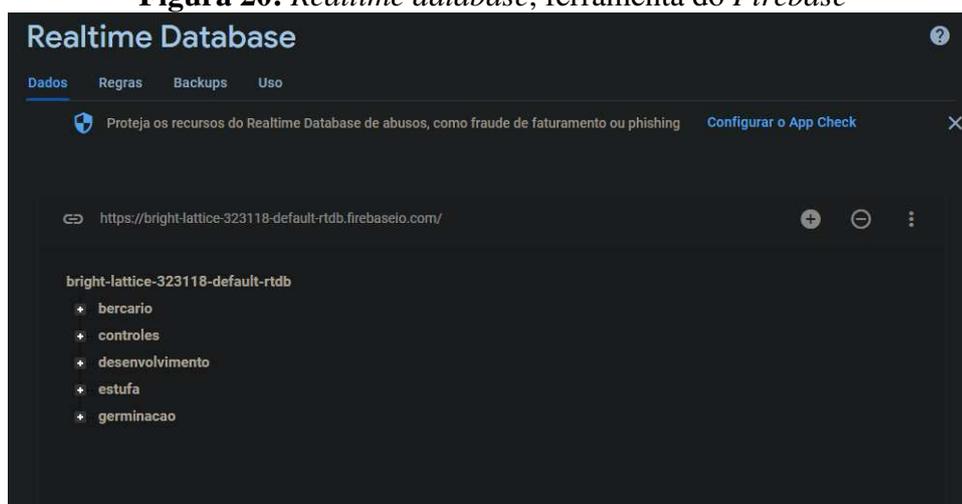
Fonte: Autor, 2022.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO MÓVEL E *REAL TIME DATABASE*

Como um dos objetivos finais do desenvolvimento deste trabalho, está o aditamento de um aplicativo móvel que irá reunir as informações em tempo real que serão coletadas das bancadas hidropônicas. Para tal, faz-se necessário o armazenamento destes mesmos dados em um banco de dados web para servir como alimentação de informação para o aplicativo. Para tanto, será utilizado o *Firebase* da Google, por apresentar uma alternativa viável e barata de armazenamento de dados e a opção de utilização do banco de dados em tempo real, que permite que os dados sejam armazenados e lidos no momento em que são disponibilizados com um limite gratuito de 10 Gigabytes de informação.

Na Figura 20 demonstra a estrutura de recebimento de dados do *Firebase* disponível via *Dashboard Web*.

Figura 20: *Realtime database*, ferramenta do *Firebase*



Fonte: Autor, 2022.

Com relação ao aplicativo, o desenvolvimento dele se deu em um *framework* chamado *Flutter*, desenvolvido pela própria Google. Trata-se de um facilitador com a função de favorecer o desenvolvimento de aplicativos. O *Flutter* possui código aberto e baseia-se em uma linguagem de programação chamada de Dart (ANDRADE, 2020).

4.4 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO

Nesta seção da pesquisa são descritos todos os tópicos referentes a execução das diferentes etapas, incluindo o modo de uso empregado.

4.4.1 Tecnologias Utilizadas

Para o desenvolvimento do aplicativo, utilizamos a tecnologia do *Google: Flutter*. Para o banco de dados, comumente chamado de *backend*, utilizamos o *Firebase*.

4.4.2 Framework Flutter

Flutter é um *framework* utilizado para criação de apps de alta performance e fidelidade para as plataformas iOS e Android (GOOGLE, 2019a). Foi desenvolvido pela Google e lançado publicamente em maio de 2017, com sua primeira versão pública sendo a *AlpHa v0.0.6*. As aplicações são escritas utilizando a linguagem Dart, também criada pela Google, que é bastante semelhante ao conhecido Javascript. Além da linguagem, uma outra característica é que ele se baseia em “*widgets*”, recurso importante, visto sua característica de baixo consumo de memória e garantia de exibição em tempo real das informações.

Toda a interface de um app utilizando *Flutter*, é um *widget*. Um aspecto diferenciado deste *framework* é que ao invés de utilizar “*web views*” ou depender dos widgets nativos do próprio dispositivo, o *Flutter* renderiza todo componente de suas “*views*” utilizando sua própria *engine* de alta performance. Este comportamento possibilita a construção de aplicações que são tão performáticas quanto as próprias aplicações nativas tem a capacidade de ser (Wenhao Wu, 2018).

De forma similar ao *React Native*, o *Flutter* tem a funcionalidade “*Hot Reload*”, a qual possibilita que a aplicação seja rapidamente recarregada após qualquer alteração no código, mantendo o estado da última seção. Este fator auxilia e muito nos processos de desenvolvimento e testes, visto que não é necessário parar e rodar novamente toda a aplicação a cada mudança no código fonte.

4.4.3 Linguagem Dart

Dart é uma linguagem de programação de propósito geral originalmente desenvolvida pelo Google. Inicialmente revelada na conferência GOTO em Aarhus, Dinamarca, 12 de outubro de 2011 (PEREIRA, 2018). A linguagem pode ser utilizada para o desenvolvimento Web, servidor, desktop e aplicações móveis. É orientada a objetos, possui “*Garbage Collector*”

(coletor de lixo) e uma sintaxe do estilo das linguagens derivadas do C. Pode ser transpilada para Javascript, possibilitando o desenvolvimento Web (PEREIRA, 2018).

4.4.4 *Firebase*

Firebase é uma plataforma BaaS (*Backend-as-a-Service*), atualmente pertencente à Google, que possui diversas ferramentas para auxílio de desenvolvimento Web e *mobile*. Com ela é possível desenvolver para iOS, Android ou Web já que todo o *backend* será configurado e gerenciado pelo *Firebase* (MORIBE, 2016).

Um *backend-as-a-Service* é um serviço de computação em nuvem que serve como *middleware*. O mesmo fornece aos desenvolvedores uma forma para conectar suas aplicações *mobile* e web a serviços na nuvem a partir de APIs e SDKs (BATSCHINSKI, 2016). Esse tipo de serviço auxilia os desenvolvedores de forma que possam se concentrar em pontos mais específicos e de maior valia ao usuário da aplicação, como o *frontend*. Isso é possível em função deste tipo de serviço possibilitar ao desenvolvedor a abstração da infraestrutura necessária pelo *backend*, gerando economia de trabalho e por sua vez, acelerando a construção da aplicação (BATSCHINSKI, 2016).

Segundo Andrade 2021, o *Firebase* possui diversos recursos que auxiliam no desenvolvimento, na qualidade e no crescimento das aplicações, dentre os quais pode-se destacar:

- *Cloud Firestore*: O *Cloud Firestore* é um banco de dados de documentos NoSQL que permite armazenar, sincronizar e consultar dados facilmente para seus apps para dispositivos móveis e da Web, em escala global;

- *Firebase Hosting*: Hospedagem de conteúdo Web para desenvolvedores, que possibilita a implantação de Apps com um único comando, contando ainda com uma conexão segura (SSL), entrega rápida de conteúdo no mundo todo, e *rollbacks* fáceis de executar em caso de erros.

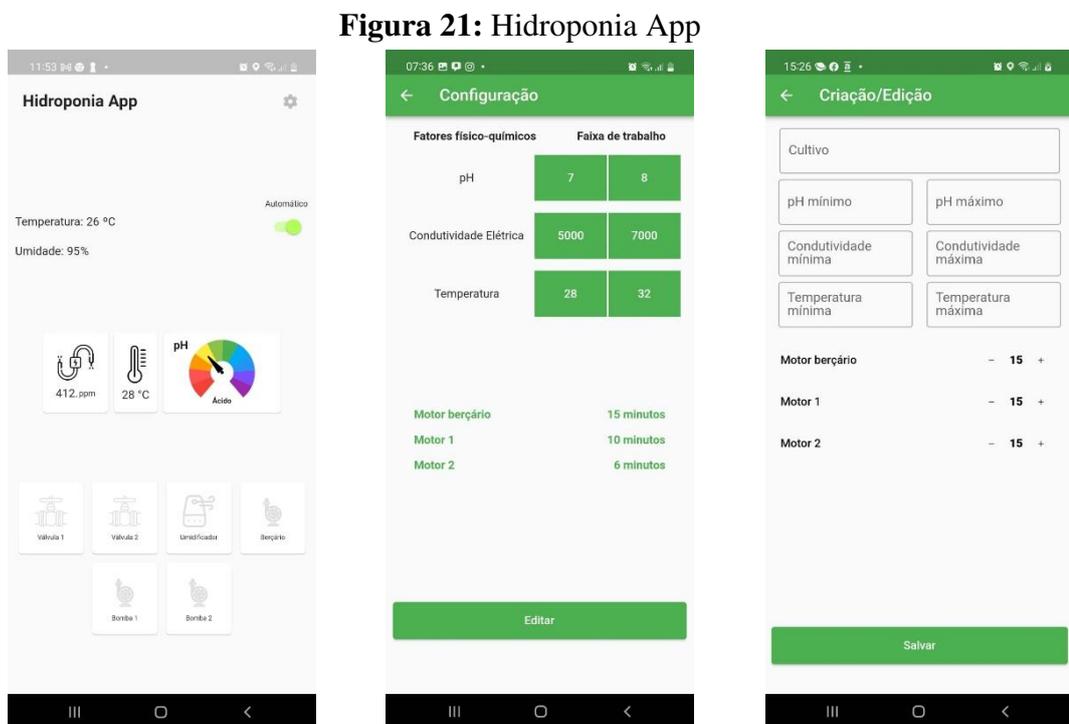
- *Firebase Crashlytics*: Ferramenta de relatório de falhas em tempo real que permite monitorar, priorizar e corrigir problemas de estabilidade no aplicativo. Permite descobrir se uma falha está afetando muitos usuários, realiza o envio de alertas quando a gravidade de um problema aumentar, e permite a descoberta de quais linhas de código estão causando os problemas.

- Monitoramento de desempenho: Serviço que fornece informação sobre as características de desempenho dos aplicativos, tais como tempo de inicialização, solicitações de rede, atividades em segundo plano, renderização de dados pela tela, etc. (Firebase, 2019).

4.4.5 Hidroponia App

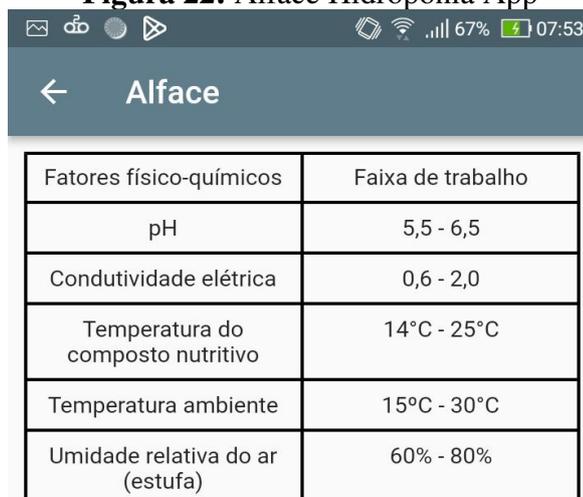
O aplicativo desenvolvido neste estudo realizou o monitoramento em tempo real do método de cultivo hidropônico remotamente. Para isso, é preciso que o usuário esteja conectado à internet, assim como o sistema. O sistema eletrônico e o aplicativo trocarão informações periodicamente através da leitura e escrita no cloud *firestore* (banco de dados online).

A figura 21 mostra uma das interfaces o aplicativo criado.



Fonte: Autor, 2022.

Com o aplicativo, será possível acionar as bombas d'água, acionar o umidificador, monitorar a temperatura e umidade, condutividade elétrica do composto nutritivo, potencial hidrogeniônico (pH), definir os valores padrões de condutividade, pH, temperatura do composto nutritivo para cada tipo de cultivo. A figura 22 apresenta a interface exemplificada para o cultivo da alface.

Figura 22: Alface Hidroponia App


Fatores físico-químicos	Faixa de trabalho
pH	5,5 - 6,5
Condutividade elétrica	0,6 - 2,0
Temperatura do composto nutritivo	14°C - 25°C
Temperatura ambiente	15°C - 30°C
Umidade relativa do ar (estufa)	60% - 80%

Fonte: Autor, 2022.

4.5 CUSTOS RELACIONADO AO PROJETO

A tabela 2 mostra os custos relacionados para a execução do projeto:

Tabela 2: Custos relacionados para a execução do projeto

Nº	DESCRIÇÃO DO ITEM	QTD	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1	BOMBA DE ÁGUA MOTOBOMBA DE HORTA HODROPÔNICA (ELETROBOMBA DE DRENAGEM) 220V*	3	UD	R\$ 52,00	R\$ 156,00
2	CAIXA D ÁGUA 1000L*	2	UD	R\$ 482,00	R\$ 964,00
3	FERRO EDDHA 6% - 1KG*	1	UD	R\$ 78,00	R\$ 78,00
4	HIDROGOOD FERT NACIONAL - 25*	1	UD	R\$ 198,78	R\$ 198,78
5	MANGUEIRA PARA IRRIGAÇÃO	100	M	R\$ 0,75	R\$ 75,00
6	NITRATO DE CÁLCIO - 25 KG*	1	UD	R\$ 68,00	R\$ 68,00
7	PLACA DE ESPUMA FENÓLICA*	2	UD	R\$ 20,00	R\$ 40,00
8	SISTEMA DE IRRIGAÇÃO HIDROPÔNICA*	1	UD	R\$ 2.306,65	R\$ 2.306,65
9	SOMBRITE PARA HORTA*	1	UD	R\$ 749,90	R\$ 749,90
10	TUBO DE AÇO PATENTE 6 METROS*	16	UD	R\$ 36,00	R\$ 576,00
11	CABO DE REDE	30	M	R\$ 2,00	R\$ 60,00
12	CABO PP 3x1,5mm	70	M	R\$ 2,50	R\$ 175,00

13	CAIXA DE MEDIÇÃO MONOFÁSICA PADRÃO ENERGISA	1	UD	R\$ 160,00	R\$ 160,00
14	CONVERSOR DE NÍVEL LÓGICO BIDIRECIONAL	1	UD	R\$ 8,60	R\$ 8,60
15	DISJUNTOR TERMOMAGNETICO 16A	1	UD	R\$ 15,00	R\$ 15,00
16	FONTE DE TENSÃO + CABO	1	UD	R\$ 89,00	R\$ 89,00
17	LDR 5MM FOTORESISTOR	1	UD	R\$ 2,00	R\$ 2,00
18	MEDIDOR PH DIGITAL	1	UD	R\$ 32,45	R\$ 32,45
19	MEDIDOR TDS DIGITAL	1	UD	R\$ 32,45	R\$ 32,45
20	MÓDULO RELÉ 16 CANAIS 5V	1	UD	R\$ 100,00	R\$ 100,00
21	MÓDULO RTC (REAL TIME CLOCK)	1	UD	R\$ 27,50	R\$ 27,50
22	MODULO WIFI ESP32 BLUETOOTH 30 PINOS	1	UD	R\$ 64,90	R\$ 64,90
23	PLACA DE FENOLITE	2	UD	R\$ 36,50	R\$ 73,00
24	REFIL PLA BRANCO 1,75MM 1KG	1	UD	R\$ 87,70	R\$ 87,70
25	REGUA DE TOMADAS COM PROTEÇÃO	1	UD	R\$ 26,00	R\$ 26,00
26	SENSOR DE CONDUTIVIDADE DA ÁGUA DO MÓDULO DO SENSOR DO TDS PARA O LÍQUIDO	1	UD	R\$ 151,44	R\$ 151,44
27	SENSOR DE NIVEL	1	UD	R\$ 42,00	R\$ 42,00
28	SENSOR DE PH	1	UD	R\$ 119,99	R\$ 119,99
29	SENSOR DE TEMPERATURA DE LÍQUIDOS DS18B20	1	UD	R\$ 18,90	R\$ 18,90
30	SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE DHT11	5	UD	R\$ 20,00	R\$ 100,00
31	SENSOR PARA MEDIDOR CONDUTIVIDADE BANCADA C230	1	UD	R\$ 298,00	R\$ 298,00
32	UNO R3 + CABO USB PARA ARDUINO	1	UD	R\$ 54,90	R\$ 54,90
33	VÁLVULAS SOLENOIDE	2	UD	R\$ 54,90	R\$ 109,80
TOTAL MATERIAL PLANTA HIDROPÔNICA*					R\$ 5.212,33
TOTAL MATERIAL CONTROLE E MONITORAMENTO					R\$ 1.613,63
TOTAL MATERIAL					6.825,96
* kit composta por itens 711 itens, necessários para composição de planta hidropônica.					

Fonte: Autor, 2022.

Com a finalidade de testar a funcionalidade do protótipo de controle em campo, o custo para implantação da planta hidropônica, laboratório hidropônico de campo, foi de aproximadamente 76% do investimento total, informado na tabela 2. O laboratório foi fundamental para uma percepção rápida dos resultados. Tendo um acesso a planta hidropônica própria, tivemos mais flexibilidade de trabalho e acesso irrestrito. O investimento relativo ao aparato eletroeletrônico relacionado ao controle e monitoramento, cerca de 24% do valor empregado, é relativamente baixo comparado ao custo de implantação de um sistema hidropônico. Em comparação planta hidropônica que foi utilizada como laboratório, essa seria um sistema mínimo de produção em escala comercial, em sistemas de grande porte a proporção do investimento seria ainda menor em torno de 10 a 15%. Logo podemos concluir que o investimento possui um retorno de curto a médio prazo.

4.6 EXECUÇÃO DO PROJETO

A figura 23, mostra o local onde o projeto foi executado, no interior do Estado da Paraíba, na cidade de Cajazeiras – PB sítio Catolé dos Mangueiras.

Figura 23: Local onde o projeto foi executado



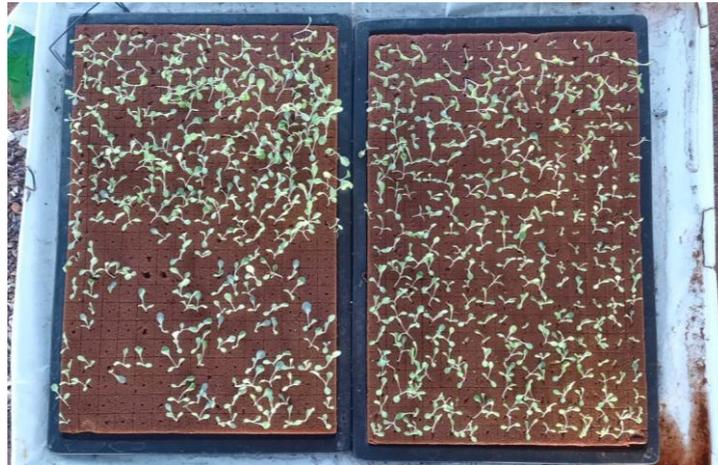
Fonte: Autor, 2022.

Para a proteção foi usado uma cobertura para o cultivo em relação aos fatores ambientais e outros intempéries que podem prejudicar a produtividade.

Antes da plantação das mudas, foi realizado o preparo do solo, com a adoção da calagem e adubação objetivando a melhoria do solo (adubação orgânica), assim como o preparo dos dois canteiros. Todas estas operações tiveram de execução entre 20 a 30 dias.

A figura 24 mostra esse processo dos primeiros dias germinação, do crescimento até a colheita.

Figura 24: Planta hidropônica utilizada no cultivo



Fonte: Autor, 2022.

A implementação da semente ocorreu no dia 22 de outubro de 2022, no dia 06 de dezembro de 2022 foi realizado a transferência para berçário e no dia 15 de dezembro de 2022 para bancada de desenvolvimento. O ponto de colheita ocorreu o dia 10 de janeiro de 2023. Durante a execução desse projeto não houve nenhuma intercorrência.

O sistema de controle e monitoramento se mostrou muito eficiente, dentre algumas vantagens destaca-se: produção com qualidade, houve menor necessidade de mão-de-obra, não foi necessária presença constante do agricultor, uso racional dos insumos e cultivo não sofreu com estresse hídrico ou de proveniente de baixo nível de nutriente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi realizado a montagem de um sistema hidropônico automatizado por meio do aplicativo Hidroponia App. É possível inferir como o uso da hidroponia em sistemas agrícolas se apresenta como uma viável alternativa na resolução de problemáticas como a baixa produção nos meios convencionais e problemas ambientais, tais como a contaminação e empobrecimento do solo, além de possibilitar uma segurança maior alimentar por não necessitar da utilização de agrotóxicos ou de defensivos agrícolas.

O cultivo da alface hidropônica no interior da Paraíba, nas condições estudadas, e com o uso de do aplicativo se apresentou com potencial de viabilidade, constituindo-se numa alternativa para os produtores interessados no emprego do sistema. No entanto, é necessário salientar a necessidade orientação de técnicos qualificados para se obter sucesso na utilização do sistema de controle e monitoramento no cultivo hidropônico. Há também um investimento inicial, mas em comparação a planta hidropônica completa, valor aproximado é 10 a 15% do em relação a uma banca completa.

Apesar, de haver esse investimento inicial, o sistema de monitoramento e controle se adequa tanto para sistemas de grande porte quanto para de pequeno porte, pode se tornar uma opção econômica também para os produtores de baixa renda que, no desejo de possuírem uma produção sustentável em suas residências, não possuem um espaço grande disponível para tal ação, uma vez que a hidroponia também é capaz de se ajustar em sistema de bancadas ou paredes, aproveitando ao máximo os espaços disponíveis nas propriedades.

Assim, o emprego da hidroponia demonstrada nesse estudo cumpre o seu papel como uma solução viável. Conclui-se, que a implementação do mecanismo de controle e monitoramento é viável, devido a uma série de pontos positivos. Do ponto de vista econômico, proporciona um retorno a médio prazo do investimento devido a otimização do processo e economia dos insumos; criação de um nicho de trabalho onde profissionais técnicos podem atuar e fazer melhorias no projeto em virtude da adaptabilidade do sistema as diversas condições de plantio; implementação de tecnologia na agricultura trazendo melhora na qualidade de trabalho do agricultor reduzindo a necessidade de um acompanhamento presencial do processo produtivo; ser visualizada enquanto modo sustentável de cultivo, o que não surge para competir com os modelos tradicionais, contudo para auxiliar as relações sociedade, saúde e natureza.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. P. de. **O que é Flutter?** 2020. Disponível em: <https://www.treinaweb.com.br/blog/o-que-e-Flutter>. Acesso em: 28 out. 2021.
- ATHOS ELETRONICS. **ESP32 – Especificações e projetos**. 2021. Disponível em: <https://athoselectronics.com/esp32/>. Acesso em: 26 maio 2021.
- BRASIL, **Hidroponia. Sistema NFT (Nutrient Film Technique)**. 2021. Disponível em: <https://www.hidroponiabrasil.com/post/sistema-nutrient-film-technique>. Acesso em: 04 set. 2021.
- BRITO NETO, A. J. de.; et al. Monitoramento de um cultivo hidropônico através de um circuito de automação e controle. **Ciências Exatas e Tecnológicas, Maceió**, v. 3, n. 1, p.105-115, 2015.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. Mato Grosso do Sul: Fundação MS, 2010.
- CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. **Princípios de Hidroponia**. Brasília: Embrapa, 2000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/769981>. Acesso em: 06 mar. 2021.
- COUTO, M. N. Agricultura 4.0: Protótipo de um Internet Of Things (IoT) na cultura da lactuca sativa. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16262/1/agriculturaprototipoculturalactucasativa.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.
- CRUZ, A. F. da S.; ANDRADE, L. C. de.; GARCIA, A. C. S. de M.; ANDRADE, A. R. S. de.; SOARES, H. R.; AMORIM, P. M. D. de.; SILVA, A. S. da.; PEREIRA, R. G.; SILVA, E. G. da. Low-cost hydroponics in Elementar School II to promote environmental education and interdisciplinarity. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e45211931758, 2022.
- DOMINGOS, A. S. Sistema de Monitoramento de cultivo hidropônico. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia de Telecomunicações), Instituto Federal de Santa Catarina, 2019.
- DOUGLAS, J. S. **Hidroponia cultura sem terra**. 6.ed. São Paulo: Nobel, 1997.
- HICKMANN, C.; LOPES, J. D. S. **Hidroponia - O Cultivo Sem Solo**. Viçosa: Cpt Editora, 2020.
- EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília: Embrapa, 2018. 212 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1>. Acesso em: 01 ago. 2021.

FORTLEV. **Caixa d'Água de Polietileno 500L**. 2021. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/produtos/reservatorios/caixa-dagua-de-polietileno-500l/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

HIDROGOOD. **Como Funciona o Sistema de Hidroponia NFT**. 2017. Disponível em: <https://hidrogood.com.br/noticias/hidroponia/como-funciona-o-sistema-de-hidroponia-nft?utm=post-facebook>. Acesso em: 04 set. 2021.

HIDROPONIA. **Plataforma. A Hidroponia**. 2021. Disponível em: <https://tudohidroponia.com>. Acesso em: 03 set. 2021.

HYDROPONICS. **In-Outdoor. Cuidados com a solução nutritiva para Hidroponia**. 2019. Disponível em: <https://in-outdoor.com.br/blog/cuidados-com-a-solucao-nutritiva-para-hidroponia/>. Acesso em: 04 set. 2021.

GHIRALDINI, A. **Hidroponia – Vantagens e Desvantagens**. 2014. Disponível em: <https://www.inteliagro.com.br/hidroponia-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

HORTA. **Casa da. Kit Perfis Hidroponia Hortivinyl**. 2021. Disponível em: https://www.casadahorta.net.br/MLB-1485581377-kit-perfis-hidroponia-hortivinyl-_JM?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=darwin_ss. Acesso em: 23 nov. 2021.

ISYSTEMS. **Agroindústria 4.0: semeando a inovação no Agronegócio**. 2021. Disponível em: <https://www.i.systems.com.br/agroindustria-4-0-semeando-a-inovacao-no-agronegocio/>. Acesso em: 14 out. 2021.

JESUS FILHO, J. D. de. **Hidroponia - Cultivo sem Solo**. Viçosa - MG, CPT, 2009.

LEAL, A. P.; LEAL, A. M. de M. Scholar: Desenvolvimento de um aplicativo móvel genérico de apoio acadêmico a estudantes em universidades. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharel em Sistemas de informação), Universidade Tecnológica Federal de Santa Catarina, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/202733/TCC_Scholar.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 out. 2021.

MEHRA M.; et al. IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 155, n. 12, 2018.

MISCHIANTI, R. **KIT DEV DOIT ESP32 v1 pinout de alta resolução e especificações**. 2021. Disponível em: <https://www.mischianti.org/2021/02/17/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/>. Acesso em: 28 out. 2021.

PEREIRA, I. S.; PEREIRA, M. T. **Olericultura**. Brasília: Nt Editora, 2016. Disponível em: <https://avant.grupont.com.br/dirVirtualLMS/arquivos/texto/48aad08f9e197cb2051139d42ff34e69.pdf>. Acesso em: 01 set. 2021.

RIBEIRO, J. G.; MARINHO, D. Y.; ESPINOSA, J. W. M. **Agricultura 4.0: Desafios à produção de alimentos e inovações tecnológicas**. Doutor Agro, 2020. Disponível em: <https://doutoragro.com/agtechhub/wp-content/uploads/2020/07/UFG-Agricultura-4.0.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

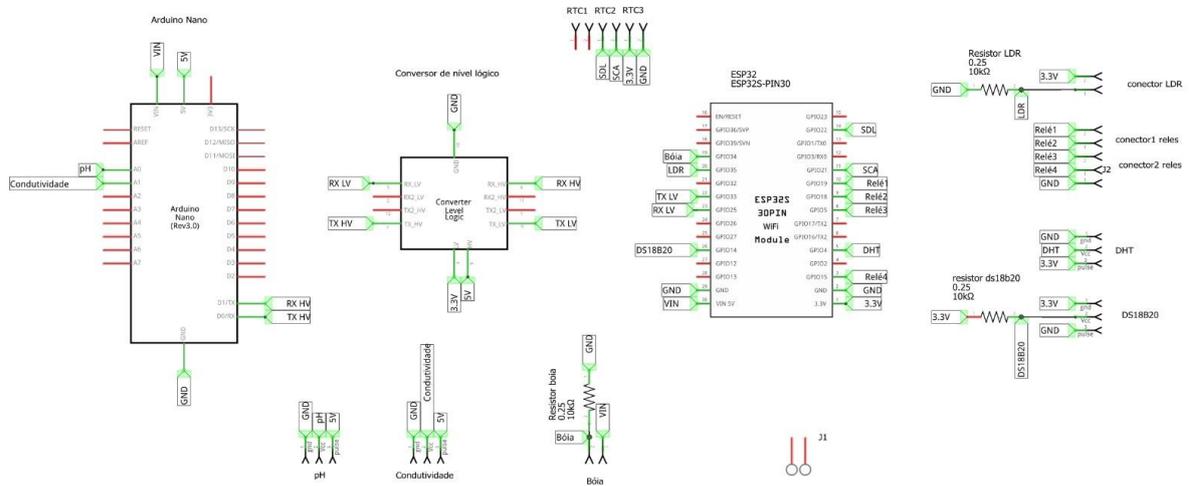
SILVA, A. P. P.; MELO, B. **Hidroponia**. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/hidropo.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

SILVA, F. B. da.; et al. **Controle Automatizado da Água no Cultivo Hidropônico**. Campina Grande - PB: Conapesc, 2018.

SOUZA, A. J.; OLIVEIRA, L. C. **Automação industrial**. Natal: DCA-UFRN, 2003.

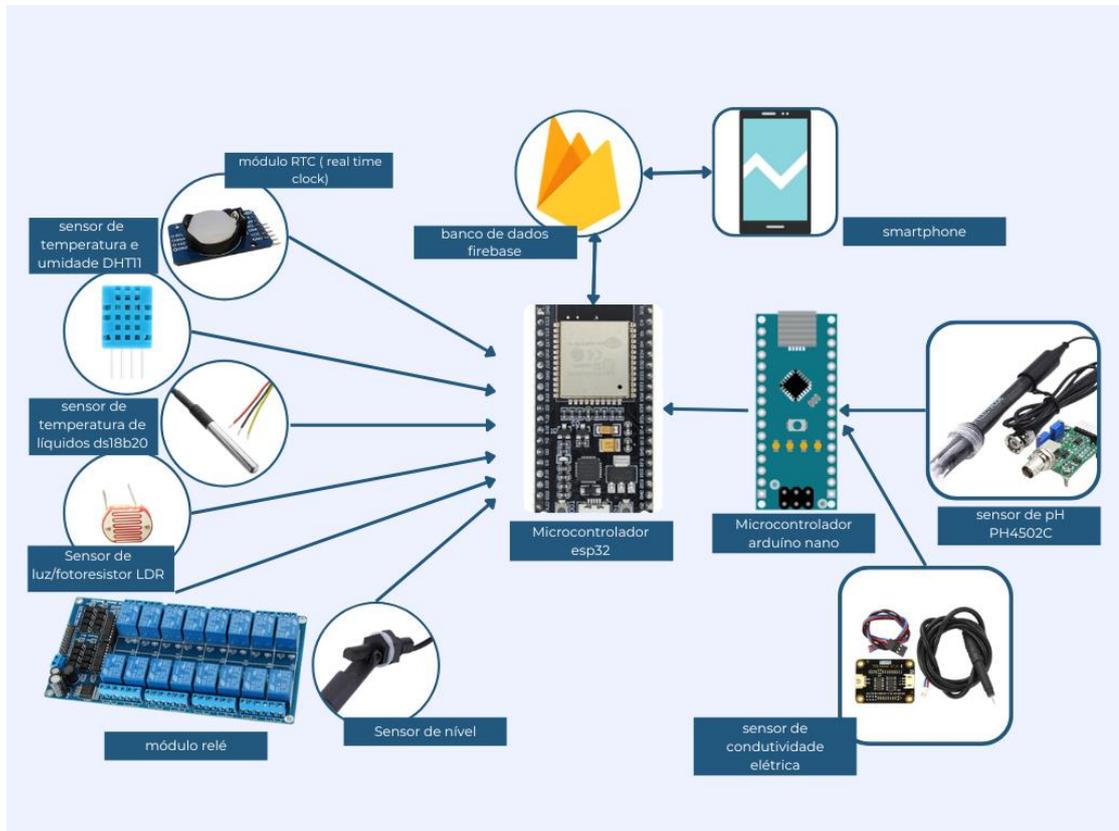
APÊNDICES

APÊNDICE A - Projeto de placa de circuito impresso e simulação no programa *fritzing*.



fritzing

Fonte: Autor, 2022.

APÊNDICE B - Visão esquemática da interação dos componentes do protótipo.

Fonte: Autor, 2022.

APÊNDICE C - Fluxograma de funcionamento.



Fonte: Autor, 2022.