INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO NORTE - CAMPUS CANGUARETAMA
ENSINO MÉDIO TÉCNICO INTEGRADO COM ELETROMECÂNICA

CARLOS EDUARDO BARBOSA DA SILVA
EDINUZIA DE LIMA PONTES
ELIABE JEREMIAS SILVA
GUSTAVO HENRIQUE XAVIER
JAMILLE YASMIM DA SILVA ARAUJO
STEPHANO BATISTA GONÇALVES DA SILVA

AQUAPONIA AUTOMATIZADA E CONECTADA À INTERNET DAS COISAS

CANGUARETAMA/RN
2024

CARLOS EDUARDO BARBOSA DA SILVA
EDINUZIA DE LIMA PONTES
ELIABE JEREMIAS SILVA
GUSTAVO HENRIQUE XAVIER
JAMILLE YASMIM DA SILVA ARAUJO
STEPHANO BATISTA GONÇALVES DA SILVA

AQUAPONIA AUTOMATIZADA E CONECTADA À INTERNET DAS COISAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Eletromecânica.

Orientador: Dr. Bruno Augusto Ferreira Vitorino

CANGUARETAMA/RN
2024

Aprovado em: 10 / 01 / 2024

Banca Examinadora

Dr. Bruno Augusto Ferreira Vitorino – Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ri Grande do Norte

Me. Vinícius Guimarães da Cruz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Me. Edmilson Dantas de Lima Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Me. Anderson Max Cirilo da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão ao orientador, Bruno Vitorino, cuja orientação e apoio foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso. Sua dedicação e apoio foram a luz que guiou cada passo do processo, proporcionando um ambiente de aprendizado enriquecedor. Além disso, queremos estender nossos agradecimentos ao voluntário Carlos Eduardo, cujo valioso tempo e colaboração contribuíram significativamente para o sucesso deste projeto, além disso, sua disposição em compartilhar conhecimento foi muito importante para enriquecer ainda mais a qualidade deste trabalho. A ambos, nosso mais sincero obrigado por serem parte fundamental dessa jornada acadêmica.

Em especial, eu, Gustavo Xavier, desejo agradecer a meus pais por todo o apoio e incentivo no momento de entrada na instituição e agradecer também à Noemi Lopes pelo encorajamento, conselhos, carinho, amor e estar comigo enfrentando vários desafios.

RESUMO

O uso excessivo de adubo e fertilizantes industriais em plantações pode levar ao desgaste do solo, o tornando ineficiente para a plantação e assim causando prejuízo a muitas pessoas que vivem da agricultura. O objetivo deste projeto é eliminar a utilização desses produtos químicos, através de um sistema sustentável e eficiente que economiza água, garante nutrientes para o solo e produz alimentos orgânicos saudáveis.

A tecnologia de monitoramento e automação pode ser aplicada para aprimorar a produção de alimentos em sistemas de agricultura aquaponicos, com sensores que monitoram a qualidade da água como também sistemas de controle de fluxo da água e iluminação, controle de ph, e distribuição de alimentos para os peixes de forma programada, garantindo uma produção mais eficiente e sustentável, sem grandes acréscimos de custo, dado o fácil acesso às tecnologias de microcontroladores. Tais tecnologias podem ser utilizadas em projetos pedagógicos, como hortas escolares, incentivando a alimentação saudável e a produção sustentável de alimentos. Assim, a proposta deste projeto é criar um protótipo de um sistema aquapônico com tecnologias de monitoramento e automação, a fim de promover uma produção de alimentos mais eficiente, sustentável e livre de produtos químicos nocivos.

Palavras chave: Automação; Microcontroladores; Horta; Irrigação; Aquaponia; Sensores; Água; Agricultura; Internet das Coisas.

ABSTRACT

The excessive use of manure and industrial fertilizers on plantations can lead to soil wear, making it inefficient for plantations and thus causing harm to many people who make a living from agriculture. The objective of this project is to eliminate the use of these chemical products, through a sustainable and efficient system that saves water, guarantees nutrients for the soil and produces healthy organic food.

Monitoring and automation technology can be applied to improve food production in aquaponic farming systems, with sensors that monitor irrigation water quality and systems that control water flow and lighting, pH control, and food distribution for fish on a scheduled basis, ensuring more efficient and sustainable production, without major cost increases, given the easy access to microcontroller technologies. Such technologies can be used in pedagogical projects, such as school gardens, encouraging healthy eating and sustainable food production. Therefore, the purpose of this project is to create a prototype of an aquaponics system with monitoring and automation technologies, in order to promote more efficient, sustainable food production and free of harmful chemicals.

Keywords: Automation; Microcontrollers; Vegetable garden; Irrigation; Aquaponics; Sensors; Water; Agriculture; Internet of Things.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	PROTÓTIPO FINAL DE GUIMARÃES SILVA (2018).....	17
FIGURA 2	PLACA DE CONTROLE DO ALIMENTADOR……	18
FIGURA 3	APLICATIVO DESENVOLVIDO.....	18
FIGURA 4	PROTÓTIPO IMPLEMENTADO.....	18
FIGURA 5	SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR.....	19
FIGURA 6	SENSORES DO TANQUE…….....	20
FIGURA 7	SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR……..	21
FIGURA 8	BOMBA DE ÁGUA…….	22
FIGURA 9	MOTOR DE PASSO……	23
FIGURA 10	RELÉ GROVE.....	23
FIGURA 11	PLACA SOLAR.....	24
FIGURA 12	EXEMPLO DIDÁTICO DO FUNCIONAMENTO DO PROTOCOLO MQTT……..	25
FIGURA 13	ILUSTRAÇÃO DO ALIMENTADOR DE PEIXES AUTOMÁTICO……	25
FIGURA 14	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO PROJETO.....	29
FIGURA 15	ILUSTRAÇÃO DO NOSSO PROTÓTIPO……	30
FIGURA 16	CAIXOTES DO PROTÓTIPO CONSTRUÍDO……..……	31
FIGURA 17	FOTOGRAFIA DO AMBIENTE QUE FOI COLETADA A AZOLLA CAROLINIANA.....	31
FIGURA 18	ILUSTRAÇÃO DE PEDRAS DE ARGILA EXPANDIDA……	33
FIGURA 19	FOTOGRAFIA DO NOSSO ALIMENTADOR AUTOMÁTICO.....	35

FIGURA 20 CIRCUITO MONTADO..... 37

FIGURA 21 BIBLIOTECAS UTILIZADAS..... 38

FIGURA 22 PARTE DO CÓDIGO REFERENTE À DEFINIÇÃO DE CONSTANTES E VARIÁVEIS..... 38

FIGURA 23 PARTE DO CÓDIGO REFERENTE À CONFIGURAÇÃO DE HARDWARE E WI-FI..... 39

FIGURA 24 PARTE DO CÓDIGO REFERENTE À CONFIGURAÇÃO DE REDE WI-FI..... 39

FIGURA 25 FUNÇÃO DE CALLBACK MQTT..... 40

FIGURA 26 PARTE DO CÓDIGO REFERENTE À RECONEXÃO AO MQTT BROKER..... 40

FIGURA 27 PARTE DO CÓDIGO REFERENTE AO LOOP PRINCIPAL…… 40

FIGURA 28 PARTE DO CÓDIGO REFERENTE À LEITURA DE TEMPERATURA DE ÁGUA…….. 41

FIGURA 29 DIAGRAMA DE FLUXO DO FUNCIONAMENTO DO MQTT E SUA INTEGRAÇÃO COM OS SENSORES…… 41

FIGURA 30 CÓDIGO DO APLICATIVO…… 44

FIGURA 31 TELA INICIAL DO APLICATIVO……. 44

FIGURA 32 IMPLEMENTAÇÃO DA PRÁTICA……. 49

FIGURA 33 CIRCUITO DO PROJETO……... 49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 CICLO DE NITRIFICAÇÃO: SAMAMBAIA AQUÁTICA (AZOLLA CAROLINIANA) E AS HORTALIÇAS…..…….. **30**

TABELA 2 CUSTOS OBTIDOS…… **44**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 12

2 OBJETIVOS..... **14**

2.1 OBJETIVOS GERAIS..... 14

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 14

3 JUSTIFICATIVA..... 15

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 16

4.1 SISTEMA DE AQUAPONIA..... 16

4.2 MICROCONTROLADOR..... 17

4.3 SENSORES..... **19**

4.3.1 Sensor de temperatura..... 19

4.3.2 Sensor de pH……..... 20

4.3.3 Sensor de temperatura e umidade do ar…….. 20

4.4 ATUADORES……..... **21**

4.4.1 Bomba hidráulica…… 21

4.4.2 Motor de passo…… 22

4.4.3 Relé GROVE……. 23

4.5 PLACA SOLAR…… 23

4.6 INTERNET DAS COISAS (IOT) E MQTT…… 24

4.7 MODELAGEM 3D…… 25

5 METODOLOGIA..... 27

5.1 MONTAGEM DO PROTÓTIPO (MECÂNICA)..... 29

5.1.1 Materiais físicos..... 29

5.1.2 Materiais biológicos..... 30

5.2 DESENVOLVIMENTO ALIMENTADOR……..…….. 34

5.3 MANUTENÇÃO E LIMPEZA DO SISTEMA…….…….. 35

5.4 MONTAGEM DO CIRCUITO……. 36

5.5 CÓDIGO USADO NO ESP32……...…….…. 38

5.5.1 Processo de escrita do código……..…….. 38

5.6 LINGUAGEM…….……. 42

5.7 APLICATIVO……..……. 42

5.8 LISTA DE CUSTOS QUE TIVEMOS AO LONGO DO PROJETO……..… **45**

6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS…….. 47

7 **CONSIDERAÇÕES FINAIS……. 49**

7.1 CONCLUSÃO..... 49

7.2 LIMITAÇÃO DO ESTUDO..... 50

7.3 RECOMENDAÇÕES..... 50

REFERÊNCIAS..... 52

ANEXOS…….. 54

1.INTRODUÇÃO

O alto índice de indústrias que utilizam de agrotóxicos, adubos e fertilizantes em larga escala, acaba infectando as plantações, os solos e consequentemente, aumentando a taxa de intoxicação e mortalidade, principalmente aos encarregados que trabalham completamente expostos a todos os produtos químicos. A aquaponia é a combinação entre “aquicultura” e “hidroponia” e refere-se à integração entre a criação de organismos aquáticos, principalmente peixes, e o cultivo de vegetais hidropônicos, geralmente hortaliças. Ou seja, é uma ótima alternativa para produção de produtos orgânicos (EMBRAPA, 2015).

Outro fato relevante sobre os sistemas aquaponicos é que, de acordo com a FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), são considerados uma atividade com enorme potencial para contribuir com o combate à fome em todo o mundo.

Na aquaponia existe um fluxo contínuo de nutrientes entre os diferentes organismos vivos que se relacionam por meio de ciclos biológicos naturais, notadamente, a nitrificação promovida por bactérias. Bactérias nitrificantes dos gêneros nitrosomonas e nitrobacter são responsáveis pela conversão da amônia. Ao consumir esses nutrientes as plantas, juntamente com as bactérias, desempenham papel importante na filtragem biológica da água, garantindo sua condição adequada para o desenvolvimento normal dos peixes (EMBRAPA, 2015).

Alguns modelos de aquaponia remontam a civilizações astecas (que faziam ilhas flutuantes chamadas Chinampas), tendo reaparecido nos dias de hoje como um estilo de vida mais autossustentável.

Atualmente, a tecnologia desempenha um papel muito importante no que diz respeito a otimização de um sistema aquapônico, com ela, é possível fomentar ferramentas e recursos para melhorar a eficiência e a produtividade desses sistemas. Assim, o sistema de cultivo integrado a ele, se torna um conjunto autônomo livre de interferências ou análises manuais, com o fluxo da água, alimentação dos peixes, produção de nutrientes, oxigenação para os seres vivos e até mesmo a iluminação das plantas. Também é possível monitorar e controlar parâmetros essenciais do sistema, como temperatura da água, pH, níveis de oxigênio dissolvido e níveis de nutrientes. Além do fornecimento em tempo real de todos estes parâmetros, permitindo ajustes precisos e imediatos quando necessários, garantindo um ambiente estável para os seres vivos envolvidos neste sistema.

Desse modo, este projeto visa desenvolver um sistema de agricultura sustentável automatizado, utilizando o método de camas de cultivo aquapônico. O sistema será alimentado por energia fotovoltaica e controlado pelo microcontrolador ESP32. Sensores de pH e umidade serão usados para monitorar o solo e a água, e o microcontrolador acionará os componentes necessários com base nessas informações. Os dados serão exibidos em tempo real e enviados para um aplicativo de monitoramento remoto. O objetivo é criar um sistema eficiente e independente que reutilize a água de irrigação.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

O desenvolvimento de um sistema aquapônico automatizado, empregando a plataforma Arduino e a base de dados MQTT, apresenta-se como uma solução valiosa. Essa tecnologia oferece facilidade de uso e acesso, permitindo a criação de um sistema preciso e de baixo custo. Isso abre oportunidades significativas para cultivadores de hortaliças, tanto em pequena quanto em grande escala, que poderão desfrutar dos benefícios desse sistema inovador.

Conforme destacado por Guimarães (2011, p. 12), embora a irrigação moderna tenha avançado consideravelmente, muitos agricultores de pequeno e médio porte enfrentam desafios de acesso a essas tecnologias, seja por restrições financeiras ou falta de conhecimento. O objetivo da criação de um sistema aquapônico automatizado de baixo custo não se limita apenas à agricultura em larga escala, mas também visa atender às necessidades de famílias que cultivam hortas em suas residências.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O protótipo desenvolvido oferece uma solução prática e de fácil manutenção, atendendo à demanda por sistemas de aquaponias automáticos. Isso é particularmente útil para proprietários de residências que desejam cultivar hortas, eliminando a preocupação com a irrigação e a adição de adubo à terra. Com esse sistema, as plantas podem ser nutridas e irrigadas conforme necessário, promovendo um desenvolvimento saudável e sem complicações.

3.JUSTIFICATIVA

A motivação pela qual se desenvolveu esse projeto foi o intuito de eliminar os elementos químicos presentes em várias plantações, e as atividades rotineiras de um cultivo que demanda trabalho manual. Para isso realizaremos um sistema sustentável e eficiente, que reutiliza a água, demanda do fornecimento de energia fotovoltaica para o seu funcionamento, reduz ou elimina o uso de fertilizantes químicos, além de ser independente do manuseio ou análise visual constante e capaz de produzir alimentos frescos e saudáveis. Assim, a tecnologia é a chave principal para o funcionamento de sistemas de agricultura sustentável, em especial, a aquaponia**.**

A capacidade de comunicação sem fio da central de comando (ESP32) não apenas simplificará a transmissão de dados, mas também possibilitará a implementação de ajustes automáticos, como o acionamento automático da bomba de água para otimizar as condições do sistema. Nesse contexto, além do ESP32 realizar essa comunicação sem fio, será dotado de um aplicativo que permitirá aos usuários dar comandos e efetuar ajustes, como ligar ou desligar a bomba de água, de maneira remota. Essa integração com a Internet das Coisas (IoT) não só contribuirá para a eficiência operacional do sistema aquapônico, mas também proporcionará maior controle e flexibilidade na gestão do ambiente aquático, marcando um avanço significativo na automação e monitoramento remoto de sistemas aquaponicos.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. SISTEMA DE AQUAPONIA

A aquaponia, reconhecida pela FAO como uma atividade com potencial para combater a fome global, exige uma análise aprofundada dos aspectos biológicos e do tipo de sistema a ser utilizado para garantir sua eficácia. Os sistemas de aquaponia geralmente consistem em tanques de criação de peixes, filtros para tratamento da água e bancadas de hidroponia, todos interligados de maneira integrada.

Segundo Mirelysia Moura (2020), existem três modalidades distintas de cultivo vegetal na aquaponia, cada uma oferecendo abordagens únicas:

- Sistema DWC (Deep Water Culture): Nessa técnica inovadora, as plantas são colocadas em orifícios feitos em bandejas de isopor que flutuam na superfície da água. Esse ambiente de grande volume de água confere estabilidade aos parâmetros físico-químicos, como temperatura e pH, sendo especialmente adequado para o cultivo de alfaces de diferentes espécies;

- Camas de Cultivo: Este método utiliza recipientes preenchidos com brita ou argila expandida, proporcionando um ambiente ideal para o cultivo de espécies de maior porte, como tomate cereja, pimenta malagueta e pimentão. As plantas são sustentadas pelo substrato e recebem os nutrientes necessários para seu desenvolvimento;

- Sistema NFT (Nutrient Film Technique): No NFT, canos de PVC ou tubulações específicas para hidroponia são utilizados. Essa abordagem é comumente empregada no cultivo de hortaliças folhosas, como alfaces. As raízes das plantas são posicionadas em canaletas, parcialmente imersas na água que transporta os nutrientes essenciais para o crescimento das plantas.

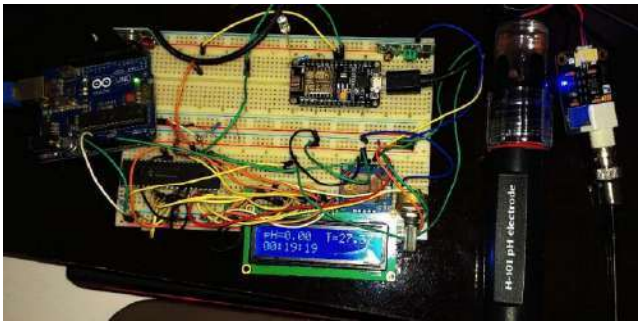
A aquaponia, de acordo com a autora, está experimentando um crescimento notável e tem o potencial de se tornar mais popular no Brasil. Cidadãos brasileiros estão adotando sistemas de aquaponia em ambientes residenciais e comerciais, compartilhando entusiasticamente suas experiências online. Pesquisadores de diversas instituições estão conduzindo estudos experimentais, demonstrando um crescente interesse nesse método inovador. A aquaponia pode, inclusive, impulsionar a agricultura familiar em áreas urbanas,

sendo viável em espaços reduzidos como cinturões verdes, quintais e varandas. Essa abordagem oferece oportunidades de inclusão produtiva para famílias de baixa renda, desde que sejam desenvolvidos métodos acessíveis e em conformidade com as normas sanitárias, permitindo que essas famílias comercializem o excedente de sua produção e impulsionam a economia em regiões menos favorecidas.

4.2. MICROCONTROLADOR

Em um projeto desenvolvido por Guimarães Silva (2018), foi possível controlar e monitorar os sensores e atuadores presentes no sistema através de um microcontrolador PIC, conforme mostrado na figura 1. Ele recebeu informações dos sensores, como temperatura e pH, e realizou o processamento desses dados. Com base nessas informações, o microcontrolador pode acionar os atuadores, como bombas de água e válvulas.

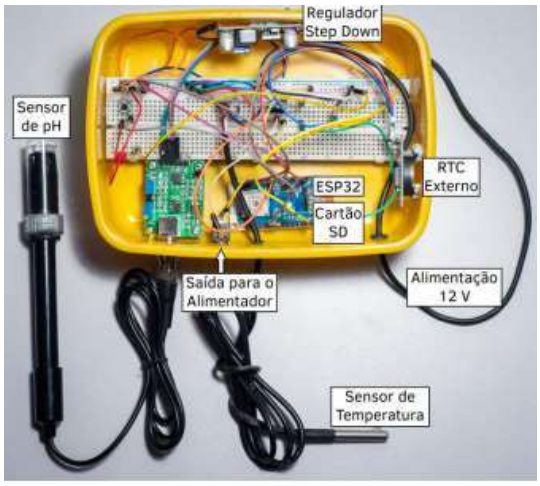
FIGURA 1: Protótipo final do projeto de Guimarães Silva (2018).



FONTE: https://www.monografias.ufop.br/bitstream

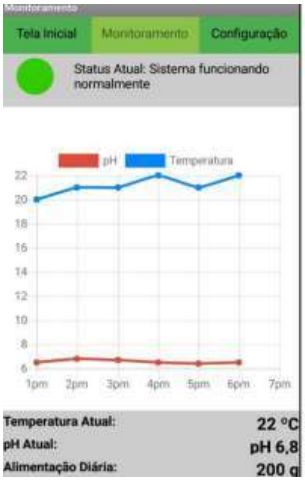
Além disso, em um outro projeto desenvolvido por Soares (2019), foi utilizado o ESP32, por ser um componente de baixo custo e bom desempenho. Ele foi responsável por tratar as leituras dos sensores, calcular a quantidade de comida a ser distribuída, comandar os atuadores do alimentador, gerenciar os dados das leituras e ainda estabelecer uma comunicação sem fios com o aplicativo que foi executado no smartphone, de acordo com as figuras 2 e 3. O ESP32 possui recursos de conectividade, como wi-fi e bluetooth, enquanto o microcontrolador PIC geralmente requer módulos externos para ser utilizado.

FIGURA 2: Placa de controle do alimentador.



FONTE: https://lume.ufrgs.br

FIGURA 3: Aplicativo desenvolvido.

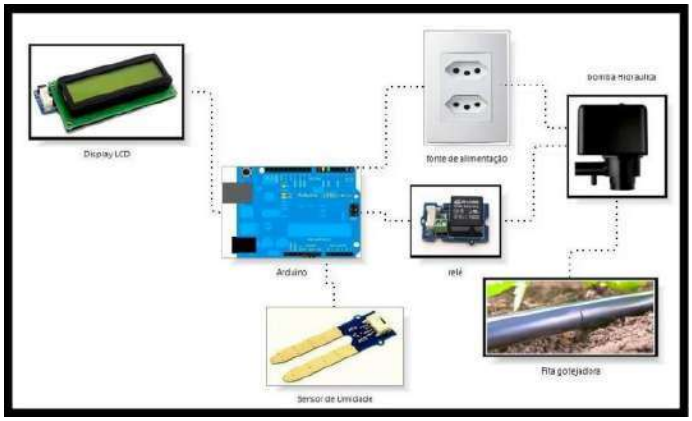


FONTE: https://lume.ufrgs.br

Já em um projeto desenvolvido por José Willian Barbosa (2013), foi possível manter a umidade do solo adequada, pois através das informações dos sensores, o arduino executava as ações no sistema, ativando a bomba hidráulica sempre que a umidade atingia um certo valor crítico, assim como estava programado no sistema.

Desse modo, utilizando a plataforma Arduino em conjunto com sensores analógicos, o microcontrolador foi empregado para coordenar e controlar diversas funções essenciais no processo de irrigação. O protótipo implementado no projeto de Barbosa está representado na figura 4.

FIGURA 4: Protótipo implementado.



FONTE:https://cepein.femanet.com.br

4.3. SENSORES

4.3.1. Sensor de temperatura

No projeto de Silva (2018) este componente foi utilizado, principalmente por conta dos peixes, que por se tratar de animais de sangue frio, toleram poucas variações de temperatura, pois o seu metabolismo pode se comprometer quando expostos a temperaturas baixas, o que os leva a consumir pouca comida e, consequentemente, o seu desenvolvimento e crescimento são muito prejudicados. Além disso, o sistema imunológico deles fica debilitado devido ao estresse promovido pela baixa temperatura, levando a um aumento da probabilidade de um ou todos peixes acabarem adoecendo.

Em um outro projeto feito por Finkelstein (2018), que tinha a finalidade de desenvolver um sistema de monitoramento para aquaponia baseado em internet das coisas, um sensor de temperatura DS18B20 (figura 5) foi usado para medir a temperatura da água, que, conforme suas palavras, monitorar a faixa da temperatura a fim de mantê-la estável a partir de por exemplo, mudar o sistema de lugar para diminuir a incidência de sol, ou partir para um local mais fresco, entre outros métodos, é um fator importante para a sobrevivência dos peixes e o crescimento das plantas.

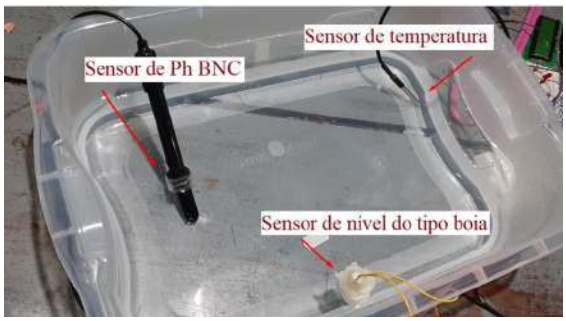
FIGURA 5: Sensor de temperatura.

FONTE: https://www.eletrogate.com/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua?

4.3.2. Sensor de pH

Em um projeto desenvolvido por França (2020), este componente foi utilizado para monitorar e controlar ativamente o pH (figura 6) da água no sistema, assim, desempenhando seu papel, possibilitando a detecção precisa das variações na acidez ou alcalinidade da água. Conforme as informações levantadas pelo autor do sistema, foi possível concluir que a integração deste sensor permitiu uma abordagem proativa no sistema, onde ajustes e correções puderam ser feitos em tempo real para manter as condições ideais para os organismos aquáticos envolvidos.

FIGURA 6: Sensores no tanque.



FONTE: http://repositorio.aee.edu.br

4.3.3 Sensor de Temperatura e Umidade do ar

Um sensor de temperatura é um dispositivo que mede a temperatura de um ambiente ou de um objeto específico.

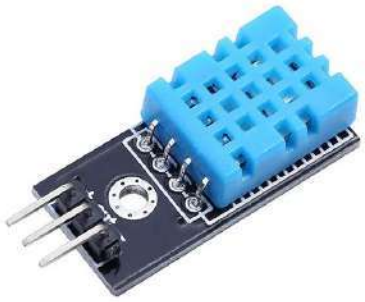
No projeto de Silva (2018) este componente foi utilizado, principalmente por conta dos peixes. por se tratar de animais de sangue frio, toleram uma variação de temperatura não muito grande, pois o seu metabolismo pode se comprometer quando expostos a temperaturas baixas, o que os leva a consumir pouca comida e, consequentemente, o seu desenvolvimento e crescimento são muito prejudicados. Além disso, o sistema imunológico deles fica debilitado devido ao estresse promovido pela baixa temperatura, levando a um aumento da probabilidade de um ou todos peixes acabarem adoecendo.

Em um projeto feito por Finkelstein (2018), que tinha a finalidade de desenvolver um sistema de monitoramento para aquaponia baseado em internet das coisas, um sensor de temperatura DS18B20 foi usado para medir a temperatura da água, que, conforme suas palavras, monitorar a faixa da temperatura a fim de mantê-la

estável a partir de por exemplo, mudar o sistema de lugar para diminuir a incidência de sol, ou partir para um local mais fresco, entre outros métodos, é um fator importante para a sobrevivência dos peixes e o crescimento das plantas.

No nosso projeto será utilizado um sensor de temperatura e umidade do ar, que transmitirá informações para os sistemas de controle do sistema e esses dados irão possibilitar ajustes precisos nas condições ambientais. Isso aprimora a capacidade do sistema em manter a temperatura e umidade do ar dentro da faixa ideal, criando ambientes mais confortáveis para os peixes e reduzindo seu nível de estresse. Esse controle preciso tem um impacto positivo na eficiência global do sistema, resultando em uma melhoria na produtividade do cultivo e proporcionando um ambiente mais saudável para os organismos aquáticos. A seguir, na figura 7, está a imagem do sensor que utilizamos.

FIGURA 7: Sensor de temperatura e umidade do ar



Fonte: www.autocorerobotica.com.br

O dispositivo estará fixado no caixote que contém as hortaliças, monitorando a temperatura do ambiente. Com base no aquecimento do ar, serão implementadas medidas para mitigar os efeitos dos raios ultravioleta que ultrapassam o nível máximo que as hortaliças podem suportar. Isso contribui para a manutenção de um ambiente ótimo para o crescimento das plantas, garantindo a saúde e a produtividade do sistema aquapônico.

4.4. ATUADORES

4.4.1. Bomba hidráulica

Em um projeto realizado por Barbosa (2013) em seu sistema de irrigação automático utilizando Arduino. Foi utilizada uma bomba de vazão de 127 L/h, de consumo de 5 W e podendo suportar até 40 cm de coluna d'água. Este componente foi projetado para funcionar especificamente para atuar como elemento responsável pela circulação da água em pequenos aquários, necessariamente, acoplada a filtros biológicos, mas também é utilizada em pequenas fontes como em certas espécies de chafarizes. Em seu sistema, ela foi implementada para bombear, a partir do acionamento gerado por um relé, a água de irrigação por dentro dos canos responsáveis pela irrigação.

Além disso, como o fabricante deste modelo de bomba (figura 8) sugere, o modelo é silencioso por ser de baixa potência, contudo, produz intensa movimentação e tem baixo consumo de energia elétrica. Além disso, dentre as suas vantagens, seus elementos elétricos são totalmente imersos em resina epóxi, ou seja, completamente isolado (SARLO, 2013).

FIGURA 8: Bomba de água.

FONTE: https://shopee.com.br/Bomba-Bombinha-Submersa

4.4.2. Motor de passo

Em um projeto feito por Soares (2019), o motor de passo foi usado com o objetivo de controlar com precisão a dosagem de ração em um sistema aquapônico, proporcionando uma distribuição eficiente e mensurável de alimentos para os organismos aquáticos envolvidos no projeto.

O motor de passo, representado na figura 9, desempenhou um papel central na operação do sistema. Foi integrado ao mecanismo de dosagem, conectando-se diretamente ao eixo da rosca transportadora. Este motor, um componente crucial, permitiu uma abordagem precisa e ajustável para controlar a quantidade de ração liberada. A gestão cuidadosa dos

passos do motor de passo foi essencial, garantindo que cada movimento correspondesse a uma medida específica de ração.

FIGURA 9: Motor de passo.

FONTE:https://pt.aliexpress.com/i/4000414442372.html

4.4.3. Relé GROVE

Em um projeto que consistia em irrigar automaticamente uma plantação, um relé GROVE (figura 10) com alimentação de 5V e voltagem máxima de 250VAC/30VDC e corrente elétrica de 15A, através do sinal mediante a programação presente em um arduino, ativar a bomba hidráulica do sistema de irrigação automático em um projeto realizado por Barbosa (2013) que utilizava o arduino Uno como base.

FIGURA 10: Relé GROVE.

FONTE: www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-grove/

4.5. PLACA SOLAR

Este componente foi utilizado no projeto de Irrigação automatizada com plataforma de desenvolvimento arduino na borda didática da Universidade Federal do Ceará (LINO et. al., 2017).

Essa abordagem sustentável permitiu o carregamento constante da bateria, garantindo a operacionalidade contínua do sistema mesmo em condições de baixa luminosidade. A energia solar também desempenhou um papel crucial no acionamento automático da irrigação, monitorando a umidade do solo por meio de sensores. Além disso, sua principal finalidade neste projeto da Universidade, foi alimentar o sistema eletrônico, composto por dispositivos de controle, uma bateria de 12 volts e uma placa de gerenciamento de energia. Abaixo, está ilustrada uma placa solar.

FIGURA 11: Placa solar.

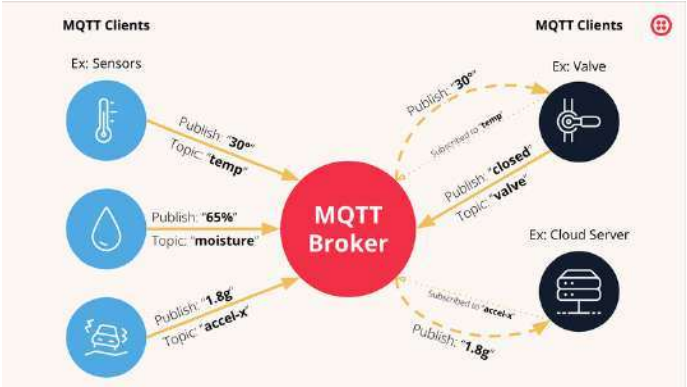
FONTE: (fusionenergiasolar.es)

4.6. INTERNET DAS COISAS (IOT) E MQTT

É um conceito que se refere à interconexão de dispositivos físicos, como eletrodomésticos, veículos, sensores e outros objetos, por meio da internet. Esses dispositivos são capazes de coletar, trocar e analisar dados, permitindo a automatização de tarefas e o monitoramento em tempo real. No projeto de Finkelstein (2018), a IoT foi empregada na coleta de dados referentes à qualidade da água, saúde dos peixes e condições ambientais em um sistema de aquaponia.

O broker, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de mensagens leve e eficiente, projetado para facilitar a comunicação entre dispositivos em redes de IoT. Ele é amplamente utilizado em aplicações de monitoramento e controle, incluindo projetos de aquaponia. A rede, nesse caso, foi utilizada como forma de ponte de transporte entre o IOT e o arduino. Na figura abaixo, está representado um exemplo do funcionamento do protocolo MQTT.

FIGURA 12: Exemplo didático do funcionamento do protocolo MQTT.



Fonte: www.twilio.com

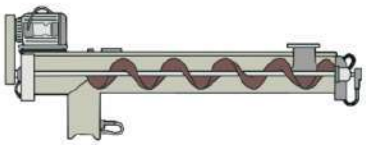
4.7. MODELAGEM 3D

A modelagem 3d foi implementada para produzir a rosca de um parafuso de Arquimedes em um projeto que tinha como objetivo confeccionar um alimentador para peixes automático, isso, em um projeto realizado por Soares (2013).

No que diz respeito à rosca transportadora (também conhecida como parafuso de Arquimedes), o autor do projeto, desenvolveu esse modelo para atender a questão da distribuição de ração equilibrada e automática utilizando um motor de passo em baixa rotação, que pôde ser capaz de liberar quantidades precisas.

Para permitir o acionamento do motor por meio da saída digital da unidade de controle, foi empregado um transistor MOSFET para controlar a carga diretamente da fonte de alimentação. A seguir está a ilustração do projeto do sistema citado (figura 13).

FIGURA 13: Ilustração do alimentador de peixes automático.



Fonte: SOARES, Felipe. 2019.

5. METODOLOGIA

Neste projeto de pesquisa aplicada, será desenvolvido um sistema de agricultura sustentável inteiramente automatizado. O sistema será projetado para reutilizar a água de irrigação sem a necessidade de intervenção manual, sendo alimentado por energia fotovoltaica. Além disso, será utilizado o microcontrolador ESP32, juntamente com sensores .

Com base nas informações convertidas, o microcontrolador será programado para processar e armazenar os dados dos componentes eletrônicos do sistema de plantio direto no aplicativo a fim de promover uma monitoração ampla.

Em relação aos sensores de pH, umidade e temperatura do ar e o de temperatura da água, eles enviarão os dados para o microcontrolador, que será responsável por processar os dados, armazenar e tomar decisões com base nas programações baseadas em intervalos de tempo a bomba hidráulica, ler os níveis de pH da água ajustando conforme necessário, monitorar as condições ambientais e exibir essas informações no App em tempo real.

O sensor de pH em nosso projeto, serve para assegurar que o nível de acidez ou alcalinidade da água esteja dentro da faixa ideal para o cultivo das plantas. Manter o pH adequado é essencial, pois influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes e a eficiência da absorção pelas plantas. A falta deste sensor pode acarretar em sérias consequências para o nosso sistema, pois variações indesejadas no pH podem surgir, levando a uma série de problemas. A disponibilidade nutricional pode se tornar irregular, resultando em deficiências que impactam negativamente a saúde das plantas. Níveis extremos de pH podem liberar elementos tóxicos no meio, prejudicando tanto as plantas quanto os organismos aquáticos presentes.

O ciclo do nitrogênio, vital para o sistema, é sensível ao pH, desse modo, variações inadequadas podem afetar as atividades das bactérias nitrificantes, comprometendo a conversão eficiente de amônia em nitratos. Além disso, a eficiência da absorção de nutrientes pelas plantas pode ser reduzida, resultando em um aproveitamento subótimo dos insumos.

A integração do sensor de umidade e temperatura do ar em nosso sistema aquapônico é de extrema importância para garantir um ambiente propício ao cultivo das plantas. Este sensor fornece informações sobre a umidade e temperatura do ar, dois fatores determinantes para o desenvolvimento saudável das plantas.

A variação não monitorada da temperatura do ar pode causar extremos térmicos, impactando negativamente o metabolismo e o crescimento das plantas. Além disso, o equilíbrio adequado entre umidade e temperatura é a essência para a transpiração eficiente das plantas, e a falta de monitoramento pode afetar essa capacidade. No entanto, no nosso sistema, onde as raízes das plantas estão submersas em água, não será necessário calcular a umidade do ar, pois a presença constante da água ao redor das raízes proporciona um ambiente estável, minimizando a influência direta da umidade do ar sobre o sistema radicular.

A inclusão do sensor de temperatura da água é um elemento crítico para assegurar condições térmicas ideais, fundamentais para o bem-estar das plantas e o funcionamento eficiente do sistema. Ele fornece informações sobre a temperatura da água, um fator que impacta diretamente as plantas e os peixes.

A falta de monitoramento contínuo desta temperatura pode levar a variações não controladas, resultando em extremos térmicos que afetam negativamente o metabolismo das plantas e a atividade biológica no sistema aquapônico. Isso pode causar estresse nos peixes e comprometer a eficiência das reações biológicas essenciais, como a do ciclo do nitrogênio. Além disso, a temperatura da água desempenha um papel crítico na solubilidade de gases, como oxigênio, afetando diretamente a respiração dos organismos aquáticos.

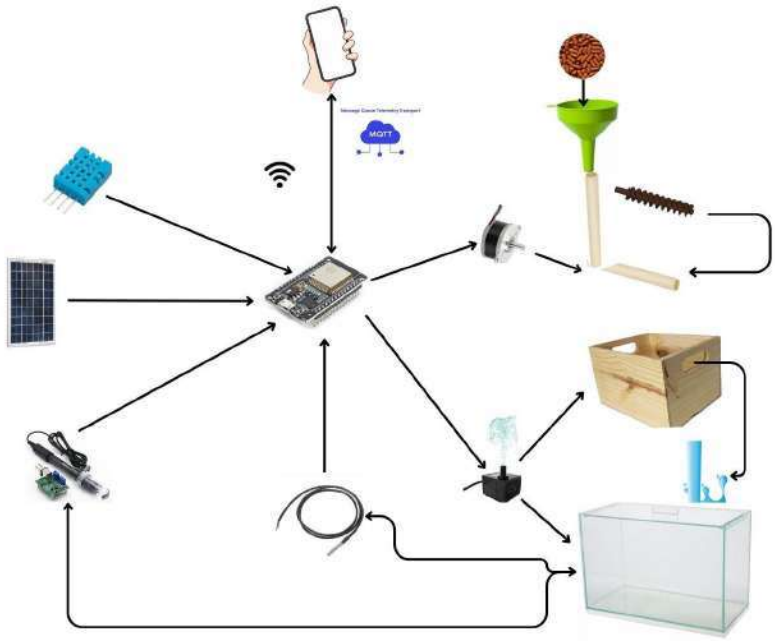
A implementação desses sensores permitirá que o microcontrolador monitore continuamente o pH da água, umidade e temperatura do ar e a temperatura da água, e mantenha a bomba hidráulica acionada conforme necessário para ajustar e manter as variáveis ideais.

Um motor de passo será utilizado para alimentar os peixes no sistema aquapônico. Todos os dados coletados serão enviados para um aplicativo de monitoramento remoto, permitindo que os usuários acompanhem o status da plantação mesmo à distância. Um microcontrolador também pode agir de acordo com horários predefinidos, utilizando um Relógio de Tempo Real, e deve tomar decisões com base nas condições aplicadas. Com essa abordagem, busca-se criar um sistema de agricultura sustentável e automatizado, que seja independente e eficiente no uso da água e dos recursos energéticos fornecidos através de uma simbiose (interação entre duas espécies que vivem juntas) entre as hortas e os seres vivos presentes no aquário que em tese seriam peixes de pequeno porte por se tratar de um protótipo, porém, em respeito ao uso de animais mediante aos riscos de doenças os

falecimento deles, optamos por uma segunda alternativa, que a implementação da Azolla caroliniana, para adubação e fixação de nutrientes.

Na imagem abaixo, está ilustrado o diagrama esquemático do projeto aquapônico.

FIGURA 14: Diagrama esquemático do projeto.



FONTE: Produção do próprio autor.

5.1. MONTAGEM FÍSICA DO PROTÓTIPO (MECÂNICA)

Para o desenvolvimento da parte física do compartimento dos seres vivos do protótipo do sistema de aquaponia automatizada, foram necessários os seguintes itens:

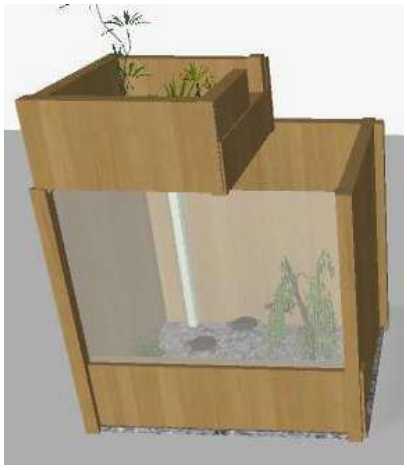
5.1.1. Materiais físicos:

- Tábuas de pinos;
- Cola de silicone acética;
- Pregos;
- Papel contact.
- Parafusadeira;
- Serra elétrica;

5.1.2. Materiais biológicos:

- Areia de lago/açude;
- Azolla caroliniana (samambaia aquática);
- Pedras;
- Água do mesmo ambiente da samambaia;
- Pedras de argila;
- Mudas de hortaliças:

FIGURA 15: Ilustração de nosso protótipo.



FONTE: Produção do próprio autor.

Para a parte prática do projeto, fizemos o nosso aquário, com base no modelo arquitetado na imagem acima (figura 15). Para elaboração, utilizamos tábuas de pino, prego, veda calha e uma peça de vidro reutilizada de um fogão. Fizemos uma caixa maior que serviria de aquário para os peixes com medidas de 50cmX30cm e uma menor para as plantas, com medidas de 20cmX30cm e que estaria sobreposta no caixote maior de modo que a qual a água do aquário ficasse circulando para caixa menor das hortaliças. Mas, devido às rachaduras nas tábuas presentes na caixa maior que seria o aquário, ela ficou inutilizável, pois o vazamento era muito grande e mesmo isolando a área, com papel contact e veda calha, não foi o suficiente. Abaixo segue as imagens do modelo pronto, antes do teste ser feito com água.

FIGURA 16: Caixotes do protótipo construído.

FONTE: Registro do próprio autor.

Devido ao imprevisto com o aquário da imagem acima (figura 16), alternamos para o uso de uma caixa térmica, considerando também que, por questão de ética e respeito aos animais levando em consideração que existe o risco de adoecimento, estresse, e até falecimento, ao invés dos peixes, nós optamos por uma outra alternativa aos peixes, desse modo, se torna dispensável o uso de um compartimento com tela de vidro, que é essencial em um ambiente para peixes.

Desse modo, é importante ressaltar que alguns vegetais podem estabelecer associações benéficas com bactérias capazes de fixar nitrogênio atmosférico na água, como é o caso da Azolla caroliniana, uma samambaia aquática que vive em superfícies rasas e podem ser encontradas em lagos de água doce.

A seguir está uma imagem (figura 17) de alguns exemplares encontrados e registrados em um lago da região.

FIGURA 17: Fotografia do ambiente que foi coletada a Azolla Caroliniana.

FONTE: Registro do próprio autor.

Essa planta possui uma simbiose com a cianobactéria Anabaena azollae Strasburger (figura 16), permitindo a fixação do nitrogênio. Dessa forma, em vez de depender de tanques com peixes, é possível ter um tanque separado apenas com a Azolla, que desempenha um papel crucial na fixação de nitrogênio.

A seguir, está o ciclo de nitrificação necessário para o desenvolvimento de seres vivos em um projeto que utiliza a samambaia aquática:

TABELA 1 : Ciclo de nitrificação: Samambaia aquática (azolla caroliniana) e as hortaliças

Azolla caroliniana	Produz resíduos orgânicos, incluindo amônia
Bactérias Nitrosomonas	Convertem a amônia em nitritos
Nitritos	Resultam da primeira etapa de conversão
Bactérias Nitrobacter	Convertem nitritos em nitratos.
Nitratos	Formam-se como resultado da segunda etapa de conversão.
Hortaliças e Azolla caroliniana	Ambas absorvem nitratos como nutrientes.
Filtragem Biológica	Hortaliças e Azolla contribuem para a purificação da água.
Retorno ao Sistema	Água limpa, agora livre de nitritos e nitratos, retorna ao sistema de cultivo.

FONTE: Arquivos do autor

Então, como mostrado na tabela acima, o ciclo de nitrificação envolve a interação entre a Azolla caroliniana, bactérias nitrificantes, hortaliças e a água no ambiente de cultivo.

Desse modo, a Azolla caroliniana desempenha o papel inicial ao produzir resíduos orgânicos, incluindo amônia. Essa amônia é então convertida em nitritos por bactérias do gênero Nitrosomonas, marcando a primeira etapa do ciclo.

Os nitritos resultantes são posteriormente convertidos em nitratos por bactérias do gênero Nitrobacter, constituindo a segunda etapa do processo de nitrificação. Esses nitratos,

agora na forma de nutrientes mais seguros, tornam-se disponíveis para absorção pelas hortaliças e pela Azolla caroliniana. Tanto as hortaliças quanto a Azolla absorvem ativamente esses nitratos, utilizando-os como nutrientes essenciais para o seu crescimento.

Além de fornecer nutrientes para as plantas, esse ciclo desempenha um grande papel na purificação da água. As hortaliças e a Azolla atuam como agentes de filtragem biológica, contribuindo para remover nitritos e nitratos da água, garantindo assim um ambiente aquapônico equilibrado e sustentável.

Estando a água livre de nitritos e nitratos e enriquecida com nutrientes, ela retorna ao sistema de cultivo, mostrando que essa a interação demonstra como a interação entre Azolla, bactérias nitrificantes e hortaliças neste ciclo cria um ambiente eficiente,

Em relação a composição do aquário, ou seja, os elementos naturais, foi empregado alguns substratos como as pedras de argila já mencionadas acima. Em aquários, o termo "substrato" refere-se ao material colocado no fundo do tanque para desempenhar várias funções, como suporte para plantas, abrigo para microorganismos, e contribuição para a estética geral do aquário. Os substratos podem ser compostos por uma variedade de materiais, e a escolha do substrato depende das necessidades específicas do aquário e das preferências do aquarista. Desse modo, existem diversos tipos de substratos como Substrato de Basalto ou Laterita para fornecer nutrientes adicionais para as plantas. Entretanto, em nosso sistema, foi empregado o uso de pedras de argilas de jardim como está presente na imagem a seguir:

FIGURA 18: Ilustração de pedras de argila expandida.

Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/

Ao considerar substratos para um sistema aquapônico, destaco a importância das pedras de argila expandidas (figura 17). Estas pedras, conhecidas por sua leveza e porosidade, desempenham uma função crucial no ambiente aquapônico, proporcionando aeração e

drenagem ideais para o desenvolvimento saudável das raízes das plantas. Além disso, sua neutralidade em termos de nutrientes as torna uma opção versátil, permitindo que o foco na nutrição das plantas seja direcionado conforme necessário, seja por meio de suplementação ou de outros componentes do sistema. A utilização das pedras de argila expandida é especialmente recomendada para aqueles que buscam uma solução eficiente e equilibrada, valorizando a aerificação do substrato e garantindo condições propícias para o crescimento robusto das plantas em sistemas aquapônicos.

Já em relação ao caixote de hortaliças, foi empregado mudas de coentro com aproximadamente 4cm de comprimento sem levar em consideração as raízes.

5.2. DESENVOLVIMENTO DO ALIMENTADOR

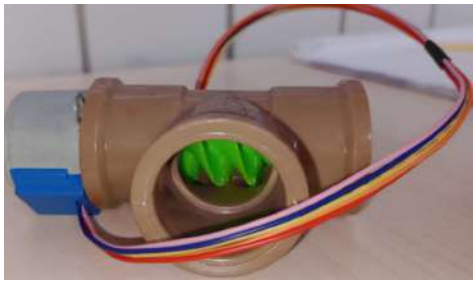
O desenvolvimento de um alimentador de peixes automático é uma solução inovadora que visa facilitar a rotina dos aquaristas, garantindo que seus peixes recebam alimentação regular, mesmo na ausência do cuidador. Nesse contexto, a utilização de materiais como cano de PVC, parafuso impresso e um motor de passo programado com um relé temporizador destaca-se como uma abordagem eficaz para a criação de um dispositivo funcional e eficiente.

O cano de PVC serve como estrutura principal do alimentador, proporcionando uma base sólida e resistente. Além de sua durabilidade, o PVC é um material acessível e de fácil manipulação, o que facilita o processo de construção do alimentador.

A inclusão de um parafuso impresso no projeto contribui significativamente para o mecanismo de distribuição de alimentos. Esse componente, produzido por meio da impressão 3D, com dimensão do diâmetro próxima a dimensão do diâmetro da parte de dentro do cano sem considerar as bordas, permite um controle preciso na liberação da ração, garantindo uma alimentação adequada e evitando excessos que poderiam comprometer a qualidade da água do aquário.

O motor de passo do modelo 28BYJ-48 desempenha um papel crucial na automação do alimentador. Programado para girar o parafuso impresso em intervalos regulares, o motor assegura uma distribuição uniforme dos alimentos. Além disso, a precisão do motor de passo contribui para evitar desperdícios e garante que a quantidade certa de ração seja liberada, promovendo a saúde e o bem-estar dos peixes. A seguir, é possível observar, na figura 19, o formato de nosso alimentador desenvolvido.

FIGURA 19: Fotografia do nosso alimentador automático.



FONTE: Registro do autor.

A integração de um no sistema confere ao alimentador de peixes automático a capacidade de operar de forma autônoma e programada (figura 18). Esse componente possibilita a configuração de horários específicos para a alimentação, adaptando-se às necessidades dos peixes e proporcionando consistência na rotina alimentar, mesmo quando o aquarista está ausente.

Em resumo, o uso combinado de cano de PVC, parafuso impresso e motor de passo programado com um relé temporizador representa uma abordagem inteligente e acessível para o desenvolvimento de um alimentador de peixes automático. Esse dispositivo não apenas simplifica a vida do aquarista, mas também contribui para a saúde e o bem-estar dos peixes ao garantir uma alimentação regular e controlada.

5.3. MANUTENÇÃO E LIMPEZA DO SISTEMA

A manutenção regular e a limpeza eficiente do nosso sistema aquapônico desempenham um papel vital na promoção do crescimento saudável das plantas e no bem-estar dos organismos aquáticos. Estabeleceremos práticas rotineiras, como a remoção de resíduos sólidos, garantindo a limpeza da água e evitando obstruções na bomba. Monitoraremos de perto os parâmetros do sistema, ajustando pH, temperatura da água e do ar para criar um ambiente ideal.

A poda regular das plantas será implementada para promover um crescimento vigoroso, removendo folhas indesejadas e ajustando posições para otimizar a exposição à luz. Inspeções regulares do estado geral do sistema assegurarão o pleno funcionamento, com substituição ou reparo de componentes desgastados conforme necessário.

No caso da utilização da Azolla caroliniana em vez de peixes, focaremos no monitoramento de sua saúde e comportamento, atentos ao seu papel crucial no ciclo de nitrogênio e contribuição para nutrientes destinados às hortaliças. A limpeza das superfícies externas, a calibração regular dos sensores e o registro detalhado de dados complementam nossa abordagem abrangente para garantir a eficiência e sustentabilidade contínuas do sistema aquapônico.

5.4. MONTAGEM DO CIRCUITO

Na montagem do circuito com o microcontrolador ESP32, enfrentamos alguns desafios que exigiram escolhas estratégicas na alocação dos pinos. Optamos por utilizar pinos de numeração alta devido à p esença da placa de Wi-Fi, garantindo assim uma melhor integração e desempenho global do sistema.

O sensor de temperatura foi incorporado ao circuito mediante a inclusão de um resistor de pull-up. Este componente é fundamental para garantir a estabilidade do sinal, evitando flutuações indesejadas. Em termos técnicos, um resistor de pull-up é conectado entre a saída do sensor e a fonte de alimentação, assegurando que o sinal seja mantido em nível alto na ausência de uma leitura ativa.

A alimentação dos sensores foi padronizada em 3.3V, proporcionando uma tensão compatível com as especificações do ESP32. Essa uniformidade na alimentação contribui para a simplicidade do circuito e evita problemas de compatibilidade. Dois sensores de temperatura foram escolhidos para integrar o sistema, ambos configurados com o resistor de pull-up mencionado anteriormente: o DHT11 e o DS18B20. Essa escolha foi baseada na necessidade de obter medidas precisas e confiáveis da temperatura ambiente.

Além dos sensores de temperatura, incorporamos ao circuito um sensor de pH, o qual está associado a uma placa específica, conhecida como pH-4502C. Essa placa proporciona uma interface otimizada para a leitura do pH, simplificando a integração do sensor e permitindo uma aquisição eficiente dos dados relacionados à acidez da solução. Assim, a montagem do circuito com o microcontrolador ESP32 envolveu uma cuidadosa seleção de componentes, a alocação estratégica de pinos e a consideração das características específicas de cada sensor utilizado. Essas decisões visam garantir a estabilidade, precisão e eficiência do sistema, atendendo aos requisitos particulares do projeto em questão.

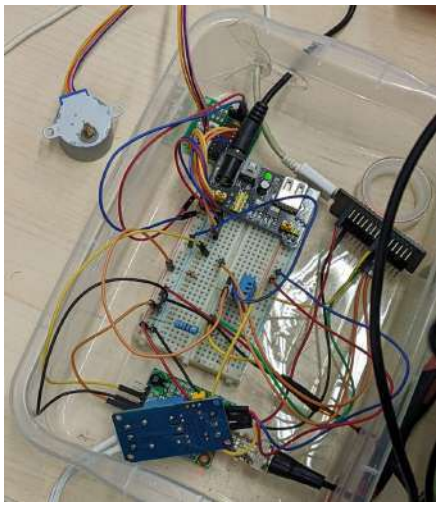
Foi incorporado no circuito uma lâmpada para simular a luz do sol e um módulo de fonte de alimentação. O modelo escolhido, o HW-131, desempenha um papel crucial ao fornecer 3.3V em uma extremidade e 5V na outra. Esta dualidade permite alimentar diversos componentes de forma eficiente. Os 5V provenientes desse módulo são destinados ao motor de passo, proporcionando a energia necessária para seu funcionamento preciso e controlado.

O relé foi colocado entre o retorno da lâmpada e a fase. A fase segue diretamente para a lâmpada, enquanto o neutro da lâmpada é conectado ao comum do relé, direcionando-o diretamente à tomada. O retorno da lâmpada é então conectado ao pino normalmente aberto do relé, permitindo-nos interromper ou restabelecer o circuito elétrico conforme necessário.

O outro lado do relé, conectado no ESP32, está no pino 18 para serem mandados os comandos de abertura e fechamento. Além disso, fornecemos ao relé uma alimentação de 3,3V (provenientes do módulo de fonte de alimentação) e terra para garantir seu correto funcionamento dentro do sistema. A programação do relé foi ajustada de acordo, refletindo a lógica de operação da lâmpada. Quando o circuito é energizado, tanto o relé quanto a lâmpada estão inicialmente desligados. Através de um sinal enviado pelo aplicativo, é possível ativar o relé e, consequentemente, a lâmpada, proporcionando um controle eficaz e remoto da iluminação.

Na figura 20 está a imagem do circuito.

FIGURA 20: Circuito montado.



FONTE: Produção do próprio autor.

5.5. CÓDIGO USADO NO ESP32

A experiência ao escrever o código para o ESP32 começou com a instalação do ambiente de desenvolvimento, o que incluiu alguns desafios na configuração correta do IDE Arduino para suportar a placa. A manipulação dos pinos GPIO para controlar LEDs e sensores foi uma parte intrigante do processo, embora inicialmente tenham encontrado dificuldades em entender completamente a lógica por trás disso. Enfrentamos alguns erros de compilação e configuração de pinos, mas superar esses obstáculos contribuiu significativamente para nossa compreensão prática de programação e hardware embarcado.

5.5.1. Processo de escrita do código

A escrita do código para o ESP32 consistiu nas seguintes etapa escritas e ilustradas a seguir:

- Inclusão de biblioteca necessárias para comunicação Wi-Fi, MQTT, leitura de temperatura através do OneWire, e controle do sensor de temperatura e umidade DHT:

FIGURA 21: Bibliotecas utilizadas.

FONTE: Produção do próprio autor.

- Definição de constantes e variáveis, como PINs dos sensores e configurações de rede Wi-Fi e MQTT:

FIGURA 22: Parte do código referente à definição de constantes e variáveis.

FONTE: Produção do próprio autor.

- Configuração de hardware e wi-fi: inicialização da comunicação serial, configuração da rede Wi-Fi, do cliente MQTT, e dos PINs dos sensores e atuadores:

FIGURA 23: Parte do código referente à configuração de hardware e wi-fi.

```
void setup() {
  // Inicialização da comunicação serial e configuração inicial
  Serial.begin(9600);
  setup_wifi();
  // Configuração do cliente MQTT
  client.setServer(mqtt_server, 1883);
  client.setCallback(callback);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(pinoAlimentador, OUTPUT);
  dht.begin();  // Inicialização do sensor de temperatura e umidade DHT
}
```

FONTE: Produção do próprio autor.

- Configuração de rede wi-fi:

FIGURA 24: Parte no código referente à configuração de rede wi-fi.

```
void setup_wifi() {
  delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}
```

FONTE: Produção do próprio autor.

- Função de callback MQTT: define a função de callback para lidar com mensagens MQTT recebidas.

FIGURA 25: Função de callback MQTT.

FONTE: Produção do próprio autor.

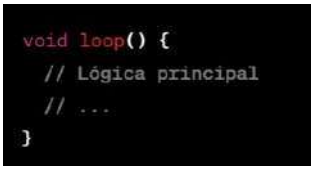
- Reconexão ao MQTT Broker: implementa a lógica de reconexão ao broker MQTT.

FIGURA 26: Parte do código referente à reconexão ao MQTT Broker.

FONTE: Produção do próprio autor.

- Loop principal: contém a lógica principal do código, incluindo a leitura de sensores e o envio de dados via MQTT.

FIGURA 27: Parte do código referente ao loop principal.



FONTE: Produção do próprio autor.

- Leitura de sensores e envio MQTT: o loop principal realiza a leitura dos sensores de temperatura da água, pH da água, e temperatura e umidade do ar. Os dados são enviados ao servidor MQTT.
- Leitura de temperatura da água: implementa a leitura da temperatura da água usando o sensor DS18S20:

FIGURA 28: Parte do código referente à leitura de temperatura da água.

```
float getTemp() {
  // Função para leitura da temperatura da água
  // ...
}
```

FONTE: Produção do próprio autor.

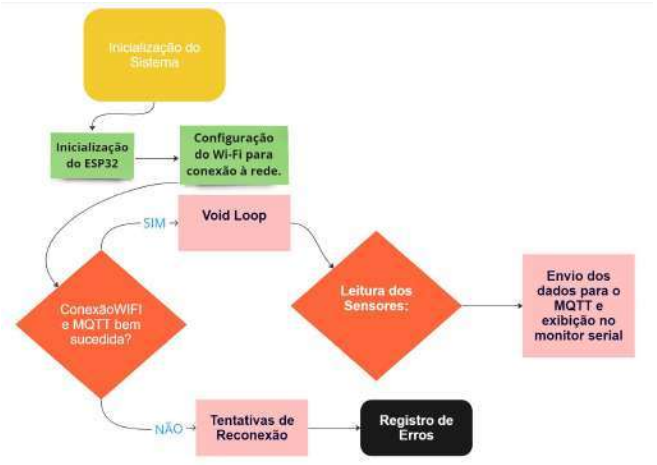
- Publicação de dados MQTT: os dados lidos são convertidos para strings e publicados nos tópicos MQTT correspondentes.

- Controle de Atuadores: o código também controla atuadores, como LEDs, com base nas mensagens MQTT recebidas.

- Gestão da Conexão MQTT: a função “Reconnect” chamada para garantir a reconexão ao broker MQTT em caso de falha.

Na figura abaixo, está mostrado o diagrama de fluxo do funcionamento do MQTT.

FIGURA 29: Diagrama de fluxo do funcionamento do MQTT e sua integração com os sensores.



FONTE: Produção do próprio autor

5.6. LINGUAGEM

A linguagem utilizada para fazer a programação foi a linguagem C++. C++ é uma linguagem de programação de propósito geral, derivada do C, suporta programação genérica por meio de templates e proporciona controle direto sobre a manipulação de memória. Sua ampla adoção em diversos domínios, incluindo desenvolvimento de sistemas, jogos e software embarcado, é atribuída à sua flexibilidade, desempenho e capacidade multi-paradigma, respaldada pela rica biblioteca padrão STL, que oferece uma variedade de estruturas de dados e algoritmos úteis.

No contexto do ESP32, o C++ é frequentemente utilizado como a linguagem principal para programação devido à popularidade do framework de desenvolvimento Arduino para ESP32. O ambiente de desenvolvimento Arduino simplifica a programação do ESP32, permitindo que os desenvolvedores utilizem C++ de maneira mais acessível, mesmo que não sejam especialistas na linguagem. Os programas para ESP32 escritos em C++ geralmente seguem o paradigma de programação orientada a objetos, fazendo uso de classes e objetos para encapsular dados e funcionalidades.

5.7. APLICATIVO

Foi desenvolvido um aplicativo móvel para dispositivos como smartphones, com o objetivo de monitorar os dados provenientes dos sensores de pH, temperatura e umidade relativa do ar. Este aplicativo visa aprimorar a automatização do sistema, integrado ao microcontrolador ESP32 e conectado à Internet das Coisas (IoT). A aplicação desempenha um papel fundamental no monitoramento do sistema de Aquaponia Automatizada, contribuindo para melhoria da qualidade de vida das plantas e peixes cultivados no sistema, além de facilitar o controle geral. Isso resulta em uma eficácia ampliada para atender aos objetivos do projeto.

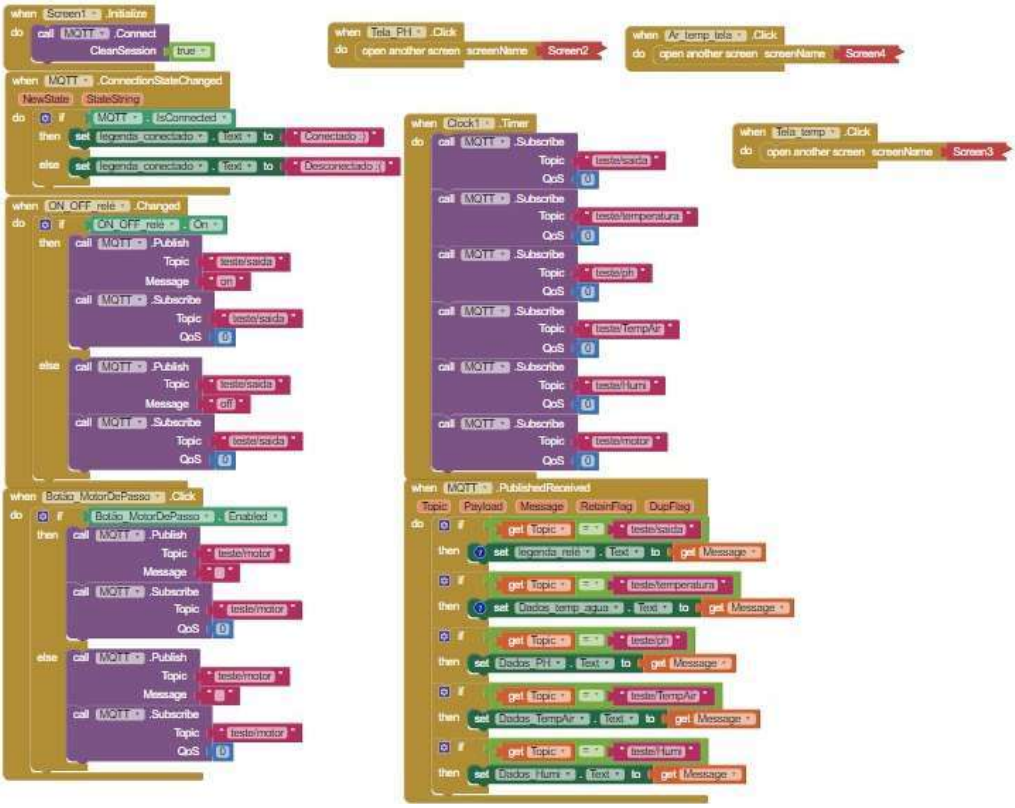
O aplicativo foi desenvolvido na plataforma MIT App Inventor, uma ferramenta de programação virtual projetada para iniciantes na criação de aplicativos, embora também seja adequada para usuários mais experientes. A plataforma permite testes em tempo real, integrando-se a dispositivos móveis. Dois aplicativos foram criados para o projeto: o primeiro, denominado "MQTT_App_com_base_no_codigo_base" é destinado a testar códigos

e efetuar possíveis alterações; o segundo, chamado "Projeto_Aquaponia," é o aplicativo final para uso prático. Parte do código do aplicativo pode ser visualizada na figura 30.

O aplicativo "Projeto_Aquaponia" possui a função de monitorar dados de temperatura (em °C), umidade e pH, recebidos por meio do protocolo MQTT, apresentando essas informações em gráficos em tempo real. Além disso, ele é capaz de controlar o estado de um módulo relé, proporcionando uma verificação visual do funcionamento por meio de um *switch* no próprio aplicativo. O aplicativo inclui quatro interfaces: Tela Inicial e três telas específicas para visualização de dados (Tela de Dados de pH, Tela de Dados de Temperatura da Água e Tela de Dados de Temperatura e Umidade do Ar). Cada interface, exceto a Tela Inicial, incorpora gráficos dinâmicos representando as informações coletadas pelos sensores.

A Tela Inicial (figura 31) oferece uma visão geral do sistema, facilitando a navegação entre as funcionalidades disponíveis. Além disso, apresenta um switch para ligar e desligar o módulo relé, bem como indica se o aplicativo está conectado à rede Wi-Fi. Já as telas especializadas contêm gráficos dinâmicos, dados dos sensores e botões, permitindo ao usuário transitar entre as diferentes interfaces e acessar informações adicionais relevantes para o sistema. Essa estrutura busca otimizar a experiência do usuário, proporcionando uma disposição lógica e intuitiva das funcionalidades, enquanto as representações gráficas em tempo real possibilitam uma análise visual imediata dos dados coletados. Desta forma, o aplicativo se apresenta como uma ferramenta abrangente e eficaz para o monitoramento e análise de informações essenciais para o funcionamento do sistema de aquaponia automatizada, incluindo pH, temperatura da água e temperatura/umidade do ar.

FIGURA 30: Código do aplicativo.



FONTE: Produção do próprio autor.

FIGURA 31: Tela inicial do aplicativo

FONTE: Produção do próprio autor.

5.8. LISTA DE MATERIAIS E CUSTOS

Abaixo, estão listados os materiais utilizados juntamente com os valores correspondentes. Alguns desses itens tiveram a obtenção por meio dos recursos disponíveis no laboratório PotiMaker no IFRN - Campus Canguaretama, enquanto outros foram adquiridos previamente por membros do grupo.

TABELA 2: Custos obtidos

OBJETOS	MATERIAIS DOS OBJETOS E QUANTIDADES	VALOR (R$)
Tanque para armazenamento da água e criação dos peixes	Termômetro de aquário	29,30
	Bomba de água submersível pequena, 12 V CC, elevação de 5 m, 800 l/h (2)	22,00
	Cano de pvc	2,60
	Parafuso de Arquimedes para o alimentador	10,00
	Folha plástica adesiva ou “papel contact" (3 metros)	15,00
	Tábuas de pinus (30x200 cm)	68,33
	Azolla caroliniana	12,00
	motor de passo para o alimentador	22,94
	Sensor de ph	116,10
	Substratos (kg)	10,00
	Relé;	24,63
	ESP-32	54,99
	Capacitor;	23,00 (uni.)

OBJETOS	MATERIAIS DOS OBJETOS E QUANTIDADES	VALOR (R$)
Centro de comando	Bateria de 12v;	100,00
	Fios e Resistores	47,00 (40 uni.)
	Caixa plástica	20,00
Materiais do sistema solar	Placa solar(1 unidade);	169,82
	Controlador de carga (1 unidade);	159,00
	Bateria de 12v; (1)	97,87
Plantação	Tábuas de pinus para o caixote (30x100 cm)	27,00
	Cola quente	0,60
	sementes	2,00
	cola de silicone	16,70
	Folha plástica adesiva ou “papel contact’’(1 metro)	5,00
	mangueira de nível (o metro)	2,00
	Termômetro de temperatura do ar	20,28
Total		921,24

FONTE: Produção do próprio autor.

6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Ao colocarmos em prática o projeto aquapônico, pudemos constatar o pleno funcionamento da programação dos sensores de temperatura e pH. Esses dispositivos desempenharam suas funções de maneira eficaz, enviando informações cruciais para o monitoramento da temperatura e pH da água. Essa funcionalidade possibilitou um acompanhamento preciso das condições do meio aquático, contribuindo para a manutenção ideal do ambiente para os organismos envolvidos no projeto.

O aplicativo desenvolvido também demonstrou sua eficácia, cumprindo sua principal função de monitorar dados essenciais. Por meio do protocolo MQTT, o aplicativo recebeu e apresentou em tempo real informações sobre a temperatura em °C, umidade e pH, exibindo esses dados de forma clara em gráficos intuitivos. Além disso, a capacidade de controlar o estado do módulo relé proporcionou uma verificação visual do funcionamento do sistema.

O acoplamento da bomba hidráulica apresentou resultados positivos, desempenhando com sucesso sua função requerida. Esse componente essencial para o sistema aquapônico contribuiu para a circulação eficiente da água, promovendo condições ideais para o desenvolvimento dos organismos aquáticos.

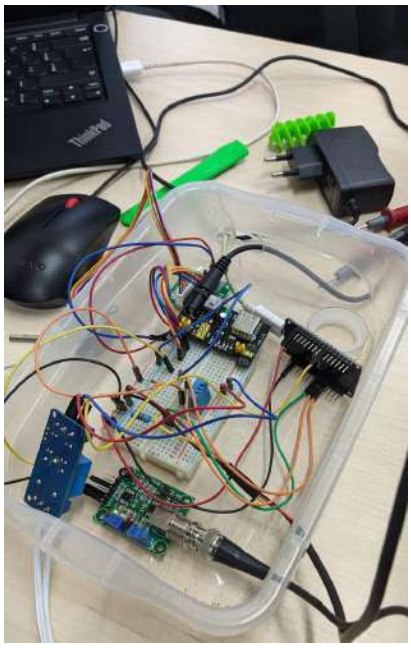
A programação do motor de passo, por sua vez, demonstrou eficácia ao cumprir seu propósito de controlar com precisão a dosagem de ração no sistema aquapônico. Esse controle preciso, proporciona uma distribuição eficiente e mensurável de alimentos para os organismos aquáticos envolvidos no projeto, garantindo uma alimentação adequada e sustentável.

Assim, a implementação prática da parte técnica do projeto aquapônico revelou-se bem-sucedida, destacando a funcionalidade dos componentes e a integração harmoniosa entre hardware e software para alcançar os objetivos propostos.

FIGURA 32: Implementação prática do projeto.

FONTE: Produção do próprio autor.

FIGURA 33: Circuito do projeto.



FONTE: Produção do próprio autor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1. CONCLUSÃO

Em conclusão, a implementação bem-sucedida do nosso sistema aquapônico automatizado, orientado pelos princípios da Internet das Coisas (IoT), representa não apenas um avanço técnico, mas uma promissora contribuição para a integração da computação em ambientes agrícolas. A manutenção regular e as práticas de limpeza eficientes demonstraram ser fundamentais para fomentar o crescimento robusto das plantas e preservar o bem-estar dos organismos aquáticos. A atenção dedicada à remoção de resíduos sólidos, ajuste preciso dos parâmetros do sistema e o monitoramento cuidadoso da Azolla caroliniana, em substituição aos peixes, ressalta nossa abordagem abrangente.

Além disso, nosso aplicativo desenvolvido, baseado no protocolo MQTT, desempenhou um papel crucial na interpretação e visualização das leituras dos sensores utilizados. O sucesso na leitura das variantes dos sensores e na apresentação gráfica correspondente fortaleceu a eficácia do monitoramento em tempo real. Através de gráficos intuitivos, os usuários podem acessar de forma fácil e compreensível as condições do sistema, incluindo parâmetros como pH, temperatura da água e outros indicadores-chave.

Ao explorar a interação sinérgica entre a Azolla e as hortaliças, especialmente no ciclo de nitrogênio, foi visado em nosso projeto uma agricultura mais sustentável e eficiente. A ênfase na limpeza das superfícies externas, a calibração regular dos sensores, o registro detalhado de dados e a visualização amigável através do aplicativo enriquecem a robustez do sistema, consolidando-o como uma solução eficaz e escalável.

Ao alcançar os objetivos propostos, reforçamos a viabilidade da aplicação da Internet das Coisas na aquaponia. As melhorias contínuas e futuras, inspiradas em possíveis aprimoramentos listados anteriormente, potencializariam ainda mais nosso sistema para uma integração mais ampla e eficaz na agricultura aquapônica.

7.2. LIMITAÇÃO DO ESTUDO

O estudo sobre um sistema de aquaponia revelou-se promissor, mas a limitação mais evidente foi no tempo insuficiente para observar o pleno desenvolvimento das plantas. A

aquaponia, que integra o cultivo de plantas e a criação de peixes em um sistema simbiótico, exige uma análise aprofundada do ciclo de vida das plantas para compreender completamente a eficácia desse método de cultivo sustentável.

No decorrer do estudo, é evidente que a avaliação do crescimento das plantas foi prejudicada pela falta de um período de observação prolongado. O ciclo de vida das plantas em um sistema de aquaponia pode variar significativamente dependendo das condições ambientais, da qualidade da água e da interação com os peixes. Sem um acompanhamento a longo prazo, não é possível obter resultados completos sobre como as plantas respondem ao ambiente aquapônico e como o sistema pode ser otimizado para um desempenho ideal.

Entretanto, é essencial ressaltar que o objetivo principal do estudo é a implementação de um sistema de monitoramento contínuo, utilizando sensores e um aplicativo de armazenamento de dados. Essa abordagem visa superar as limitações temporais, proporcionando uma visão em tempo real do ambiente aquapônico.

A ausência de um sensor para monitorar os níveis de nutrientes impede uma avaliação precisa da relação entre peixes e plantas. Sem um sensor dedicado para monitorar esses elementos essenciais na água, torna-se difícil ajustar e equilibrar a concentração de nutrientes de maneira otimizada para atender às necessidades específicas das plantas.

7.3. RECOMENDAÇÕES

Para aprimorar e otimizar o nosso projeto aquapônico, recomenda-se a implementação de um sensor de nutrientes no sistema. Essa adição trará diversos benefícios significativos para a gestão eficiente do cultivo e para o sucesso geral do projeto.

Além disso, a utilização de sensores de nutrientes oferece a vantagem do monitoramento em tempo real dos principais elementos essenciais para o crescimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio. Essa capacidade permite obter leituras instantâneas, possibilitando uma resposta imediata a quaisquer alterações nos níveis de nutrientes na solução aquapônica.

Além disso, a sua integração facilita substancialmente o processo de determinar a quantidade certa de nutrientes necessários para as plantas. Ao evitar a necessidade de cálculos

manuais, os sensores fornecem medições precisas e automatizadas, reduzindo a margem de erro e melhorando a eficiência na administração dos insumos.

A redução de desperdícios é outra vantagem considerável. Com o monitoramento preciso, evitamos sub ou superdosagem de fertilizantes, o que não apenas beneficia o crescimento das plantas, mas também contribui para uma abordagem mais sustentável no uso de recursos.

Outra questão, é a otimização de um alerta no aplicativo para que, sem a necessidade contínua de observação dos parâmetros, os produtores, através de uma mensagem de alerta, os produtores ficassem cientes que os parâmetros estão fora da margem esperada e assim possam intervir

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PEREIRA, João. **Manual prático de irrigação.** 29 págs. Rio de Janeiro: Niterói, fevereiro de 2014.

CORIOLANO, Diego; MONTEIRO; Graziela; GONÇALVES, Denilson; SOUZA, Thiago; SILVA, Lucas; NASCIMENTO, Bruno. **Projeto de automação em irrigação utilizando sistema off grid.** 8 págs. Ceará: Fortaleza, junho de 2020.

CRUZ, Bianca; SANTOS, Bryan; SOUZA, Eduardo; PINTO, Maria; SANTOS, Wesley. **Horta Automatizada utilizando Arduino UNO.** 4 págs. Sergipe: Aracaju, 2018.

LINO, David; NETO, Benedito; QUEIROZ, Larissa; FEITOSA, Patrícia; RODRIGUES, Amnon; TEIXEIRA, Adunias. **Irrigação automatizada com plataforma de desenvolvimento arduino na borda didática da Universidade Federal do Ceará.** 9 págs. Ceará: Fortaleza. 11 de setembro de 2017.

PEREIRA, Samara; SEVERO, Kélton; LOPES, Priscilla; Kaehler, José; NUNES, José. **Sistema Automático de Irrigação, Controle e Monitoramento de Estufas.** 5 págs. Rio Grande do Sul: Alegrete. 2019.

BARBOSA, Wilian. **Sistema de irrigação automatizado utilizando plataforma arduino.** 57 págs. São Paulo: Assis. 2013.

CAMARGO, Fabiano; FRANÇA, Isaias. **Aquaponia: Controle e Monitoramento com Arduino.** 57 págs. Goiás: Anápolis. 2020.

BUSARELLO, Charles. **Aplicação da Automação para Controle da Produtividade em Sistemas de Aquaponia.** 183 págs. Paraná: Medianeira. 2021.

FINKELSTEIN, Rafael. **Um Sistema de Monitoramento para Aquaponia Baseado em Internet das Coisas.** 76 págs. Rio Grande do Sul: Porto Alegre. 2018.

SOARES, Felipe. **Desenvolvimento de um Alimentador de Peixes microcontrolado para Sistemas de Aquaponia.** 81 págs. Rio Grande do Sul: Porto Alegre. 2019.

SILVA, Leonardo. **Aquisição de Dados e Atuação em um Sistema Aquapônico utilizando Microcontrolador PIC, Módulo Wifi ESP8266 e protocolo MQTT.** 51 págs. Minas Gerais: Ouro Preto, 2018

MOURA. Mirelysia. **Aquaponia: inovação e sustentabilidade. Ceará, 2020. Disponível em: Aquaponia: inovação e sustentabilidade – PET Agronomia UFC.** Acesso em: 21 de maio de 2023.

BAUMGARTNER, Tiago. **Uso do vegetal para adubação e fixação de nutrientes em meios aquaponicos - uma revisão bibliográfica.** 86 páginas. Buri, São Paulo. 2023.

SILVA, Marcos. **Produção de peixes e hortaliças em sistemas aquapônicos em vistas à sustentabilidade ambiental**. 43 páginas. Goiânia - Goiás. 2020.

CARNEIRO, Paulo; MORAIS, Carlos; NUNES, Maria; MARIA, Alexandre; FUJIMOTO, Rodrigo. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia.** 30 págs. Aracaju/SE. 2015.

VELOSO, Arthur; RODRIGUES, Antônio; SILVA, Halysson; OLIVEIRA, Davi; OLIVEIRA, Reginildo; FREDERICSON, Jorge; SENA, Ayrton; SOBRAL, José. **Implementação de um controle em Real-Time para Sistemas Hidropônicos NFT e aquaponia utilizando Broker MQTT e tecnologias de IoT.** 6 págs. Piauí: Teresina, 2018.

SANTOS, Fellipe; ALVES, Leonardo; CUNHA, Daniela. **Arquitetura de aquaponia automatizada utilizando IoT.** 16 págs. São Paulo: São Paulo, 25 de novembro de 2021.

RATNASIH; PERDANA, D.; BISONO, Y. **Performance Analysis and Automatic Prototype Aquaponic of System Design Based on Internet of Things (Iot) using Mqtt Protocol**. 8 págs. Indonésia: Bangun. 21 de agosto de 2018.

ANEXOS

1. **LINK PARA O CÓDIGO**

   https://docs.google.com/document/d/1i8o-SzytS9UepGPpJ3u2TA7231KZdMU-M9IlNnMot8w/edit

2. **QR CODE PARA ACESSO AO APLICATIVO**