



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

GUILHERME DANIEL DE SOUSA DIAS

**HIGH CROPS - SISTEMA PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE HORTAS
VERTICAIS**

TERESINA, PIAUÍ

2023

GUILHERME DANIEL DE SOUSA DIAS

HIGH CROPS - SISTEMA PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE HORTAS
VERTICAIS

Monografia apresentada à Banca Examinadora como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Orientador: Prof. M^e. Fernando Castelo Branco Gonçalves Santana.

TERESINA, PIAUÍ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Dias, Guilherme Daniel de Sousa

D541h High-Crops : sistema para monitoramento e controle de hortas verticais /
Guilherme Daniel de Sousa Dias. - 2023.
48 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina
Central, 2023.

Orientador : Prof Me. Fernando Castelo Branco Gonçalves Santana.

1. Hortas verticais . 2. Mobile . 3. Automação. I.Título.

CDD - 664

Elaborado por Maria Rosismar Farias CRB 3/631

GUILHERME DANIEL DE SOUSA DIAS

HIGH CROPS - SISTEMA PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE HORTAS
VERTICAIS

Monografia apresentada à Banca Examinadora
como requisito para aprovação na disciplina de
Trabalho de Conclusão de Curso do Curso Su-
perior de Tecnologia em Análise e Desenvolvi-
mento de Sistemas do Instituto Federal de Edu-
cação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Aprovado pela banca examinadora em 20 de Dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. M^º. Fernando Castelo
Branco Gonçalves Santana.**
Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

**Prof. Dr. Thiago Alves Elias da
Silva**
Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

Prof. Dr. Ricardo Martins Ramos
Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

**Prof. M^º. Jorge
Henrique e Silva Junior**
Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI

TERESINA, PIAUÍ

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente minha família, e a todos que me deram o apoio necessário para terminar a jornada. Agradeço profundamente aos mestres e professores que compartilharam de seus conhecimentos por todos esses anos. Finalmente agradeço aos meus orientadores, Prof. Fernando Santana, Prof. Jorge Henrique e Prof. Thiago Elias, por terem me ajudado a completar mais esse desafio.

RESUMO

Na era moderna temos diversos tipos de culturas que são mantidas através da utilização de máquinas, dessa forma diversos métodos para maximizar a produção foram criados, incluindo a automação das máquinas já existentes para que elas funcionem 24 horas por dia realizando os mais diversos tipos de trabalho, como colheita e irrigação. Existem diversas variáveis que podem ser monitoradas para realizar a automação das culturas, como a umidade do solo, fator principal que deve ser monitorado em um sistema automático, pois com o auxílio de equipamentos de irrigação pode-se regular a frequência com que o solo é irrigado. A proposta deste trabalho é apresentar uma ferramenta de baixo custo para auxiliar as pessoas a monitorarem as variáveis que influenciam no desenvolvimento das culturas como umidade e temperatura. Para isso foi desenvolvido o sistema High-Crops, uma aplicação para dispositivos móveis capaz de realizar o monitoramento da temperatura e da umidade do solo e o controle dos sensores de umidade existentes no projeto, que são os responsáveis por disponibilizar as informações para que a aplicação realize a irrigação automática da horta.

Palavras-chaves: Hortas Verticais. Mobile. Automação.

ABSTRACT

In the modern era, we have various types of cultures that are maintained through the use of machines. As a result, several methods to maximize production have been created, including the automation of existing machines to operate 24 hours a day, performing various types of work such as harvesting and irrigation. There are several variables that can be monitored to automate crop cultivation, such as soil moisture, which is a key factor to be monitored in an automated system as irrigation equipment can regulate the frequency of watering the soil. The purpose of this work is to present the High Crops tool, a low cost system to help people monitor the variables that influence the development of crops such as humidity, light and temperature. The initial proposal is to apply the system in Vertical Gardens or Suspended Gardens, but the system can be applied to monitor other types of planting methods.

Key-words: Vertical Gardens. Mobile. Automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema do protótipo feito com Arduino	17
Figura 2 – Protótipo de horta vertical	18
Figura 3 – Protótipo desenvolvido	19
Figura 4 – Protótipo do sistema	20
Figura 5 – Usuário	23
Figura 6 – Página inicial	24
Figura 7 – Hortaliças	25
Figura 8 – Detalhe da horta	26
Figura 9 – Histórico	27
Figura 10 – Web Server (Navegador)	28
Figura 11 – Wemos D1 R2	29
Figura 12 – Sensor de umidade do solo	30
Figura 13 – Sensor de umidade e temperatura do ar DHT11	31
Figura 14 – Arduino IDE	31
Figura 15 – Jumpers	32
Figura 16 – Fonte de alimentação	33
Figura 17 – Protoboard	33
Figura 18 – Projeto montado	34
Figura 19 – Exemplo do projeto no Tinkercad	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de custos do projeto	36
Tabela 2 – Tabela de preços de produtos similares	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa	10
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	Automação	12
2.2	Hortas Verticais	12
2.3	Aplicativos Móveis	13
2.4	Agricultura 4.0	14
3	TRABALHOS RELACIONADOS	17
3.1	Desenvolvimento de Sistema Automatizado de Baixo Custo de Hortas Verticais Como Um Produto Para o Mercado	17
3.2	Sistema de Controle Aplicado À Automação de Irrigação Agrícola	18
3.3	Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento e Controle de Irrigação de Agricultura Familiar com ATMEGA	19
4	HIGH CROPS	22
4.1	Implementação	22
4.2	Apresentação do Protótipo da Aplicação	22
4.3	Componentes do projeto	28
4.3.1	PLACA WEMOS D1 R2 ESP8266 12E WIFI (K1)	28
4.3.2	Sensor de umidade do solo HW-080 e comparador HW-103	29
4.3.3	Sensor de umidade do ar e temperatura DHT11	30
4.3.4	Arduíno IDE	31
4.3.5	Demais componentes	32
4.3.5.1	Jumpes (cabos)	32
4.3.5.2	Fonte de alimentação	32
4.3.5.3	Protoboard	33
4.3.6	Projeto montado	33
4.4	Custos	35
5	CONCLUSÃO	38
6	TRABALHO FUTUROS	39

REFERÊNCIAS	40
--------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Dados da Organização das Nações Unidas de 2022 [UNIDAS, 2022] apontam que 9,8% da população mundial está diretamente afetada pela fome. Os resultados foram publicados no relatório Estado da Nutrição Alimentar e Nutrição no Mundo 2022, a organização estima que cerca de 29,3% da população mundial é afetada por algum tipo de insegurança alimentar. Esses números foram agravados pela pandemia da COVID-19 e pela invasão feita pela Rússia à Ucrânia, o que afetou o suprimento de trigo e fertilizantes no mundo.

Conforme [MARINHO, 2019], as tecnologias aplicadas no âmbito da agricultura estão em constante desenvolvimento, aumentando a capacidade de produção, tornando processos mais eficientes e promovendo redução de custos. Mas o setor ainda é o que mais consome e desperdiça água no mundo, principalmente no Brasil, e isso se torna bastante perceptível ao analisar os dados dos institutos de pesquisas. Portanto a criação de um sistema de controle seja de irrigação ou dos demais elementos para a plantação é necessário.

A utilização de hortas verticais para o plantio pode trazer benefícios tanto para quem produz em casa, quanto para grandes produtores pois pode trazer grandes economias, pois reduz o espaço necessário para o plantio, permite o controle de fatores que influenciam o crescimento de uma planta e diminui o custo com transporte, visto que é possível produzir os alimentos próximo de centros urbanos, fazendo com que hortas verticais sejam mais atraentes economicamente [TEIXEIRA; ORTOLANI, 2018].

Dito isto, é objetivo deste trabalho, fornecer um meio tecnológico simplificado, que possa ser utilizado na maioria dos casos onde seja necessário o monitoramento dos dados fornecidos pelos sensores de umidade e temperatura de uma horta.

1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme [CUNHA; ROCHA, 2015], há no Brasil o crescimento da agricultura de pequena escala, que gera renda, alimentação e ajuda a preservar o meio ambiente. No entanto a tecnologia necessária para auxiliar o processo de agricultura sempre foi nichada ou de difícil acesso, devido a todas as variáveis que precisam ser monitoradas, como solo e clima. Mas nos últimos anos, sistemas informáticos mais simples se tornaram mais comuns e acessíveis, possibilitando a criação de mecanismos de medição de baixo custo, como é o caso da plataforma Arduino.

O trabalho de [NETO et al., 2017] realizou um estudo com a plataforma de computação Arduino, integrada com sensores, atuadores e interface homem-máquina, para o controle de processos de irrigação e supervisão de cultivos de tomates. Dessa maneira, pôde-se otimizar o desenvolvimento da cultura e reduzir perdas de água em regas manuais, fatores que funda-

mentaram a influência do bom manejo de irrigação no florescimento do plantio e a eficiência de sistemas embarcados para a automação sustentável.

De acordo com [REIS, 2015], a criação de um bom projeto de irrigação pode contribuir para o desenvolvimento das hortaliças, garante uma melhor utilização dos recursos, diminui danos ao meio ambiente e reduz o desperdício de água. Para alcançar esses objetivos é necessário a utilização de técnicas corretas de irrigação, dessa forma a utilização de um sistema tecnológico e preciso é fundamental, mas os sistemas atuais costumam possuir alto custo e são complexos no manuseio e manutenção. Sendo assim, é preciso criar um sistema simplificado, de fácil aquisição e manutenção.

E com essa necessidade em vista, foi solicitado a criação de um aplicativo para monitorar as variáveis de umidade e temperatura, dando surgimento ao aplicativo para *smartphones android*: High Crops. O projeto pretende resolver essa necessidade da forma prática para o produtor, entregando informações sobre o estado atual da horta em tempo real, com informações claras, e alertando o produtor caso alguma medida deva ser tomada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Criar um aplicativo para monitoramento de hortas verticais automatizadas e outros tipos, através do fornecimento de informações sobre a umidade e temperatura em tempo real sobre a horta.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Prover informações em tempo real sobre a saúde da horta para os proprietários, através do monitoramento de umidade e temperatura.
- Aumentar a sobrevivência das hortaliças para aqueles que possuem hortas verticais, através do controle preciso da irrigação.
- Auxiliar no desenvolvimento de culturas mais saudáveis para a alimentação das pessoas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AUTOMAÇÃO

A automação possui um conceito de conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam. Com base nessas informações recebidas, o sistema calcula a ação corretiva mais apropriada, ou seja, um sistema de automação se comporta como um ser humano, utilizando-se das informações sensoriais [ROSARIO, 2009].

Um controle constante dos parâmetros que impactam no desenvolvimento de uma planta, bem como a atuação no sistema de cultivo para corrigir variações nesses parâmetros, são necessárias para o aumento da produtividade e qualidade da produção de alimentos nas hortas verticais. A redução da demanda por trabalho manual por meio da automação também permite uma redução nos custos do cultivo das hortas verticais, tornando essa técnica ainda mais rentável economicamente [TEIXEIRA; ORTOLANI, 2018].

Dentre as diversas formas de automatizar uma sistema de hortas, a mais comum é automação do sistema de irrigação, sistemas automáticos de controle de irrigação se tornaram uma ferramenta essencial para a aplicação de água na quantidade necessária e no devido tempo, contribuindo para a manutenção da produção agrícola e, também, para a utilização eficiente dos recursos hídricos [ALVARENGA; FERREIRA; FORTES, 2014].

Além disso, a automação permite o controle de fertirrigação, retrolavagem de sistemas e que o acionamento de conjuntos moto-bomba sejam realizados à distância. Mas traz alguns obstáculos, como a indisponibilidade da energia elétrica comercial, sobretudo em regiões afastadas dos grandes centros, o que acarretaria um alto custo para o pequeno produtor rural [ALVARENGA; FERREIRA; FORTES, 2014].

2.2 HORTAS VERTICAIS

Conforme [TEIXEIRA; ORTOLANI, 2018], conceituar uma horta vertical é bastante simples, mas há detalhes que devem ser levados em consideração por sua complexidade. Normalmente o cultivo é feito em ambiente fechado, utilizando técnicas de hidroponia ou de aeroponia, assim sendo possível cultivar diversos tipos de hortaliças. Dessa forma é necessário que a construção de toda a estrutura da horta deva ser feita para atender as necessidade de cada cultura, sendo necessário um controle rigoroso com a temperatura e a umidade, que podem influenciar no desenvolvimento das plantas.

Conforme [MONDO et al., 2010], a germinação de sementes é regulada pela interação do seu estado com o ambiente, e cada espécie exige um conjunto de requisitos quanto a dis-

ponibilidade de água, temperatura, luz e profundidade, para a ocorrência da germinação. A temperatura é considerada ótima para a germinação das sementes quando permite a expressão do potencial de germinação em menor tempo.

Segundo [RESENDE et al., 2005], no verão também ocorre maior disponibilidade de água e altas temperaturas, favorecendo assim a ocorrência de plantas daninhas nas áreas de cultivo. Dessa forma, o produtor pode tomar medidas de controle a partir dessa variável.

Ainda segundo [TEIXEIRA; ORTOLANI, 2018], por conta dessa característica de cultivo de hortaliças em hortas verticais, isso torna as culturas mais protegidas das intempéries e do clima de maneira geral, permitindo alta eficiência e produtividade por metro quadrado, utilizando de forma mais eficiente os recursos disponíveis, e proporcionando economia ao não ser necessário adquirir grandes máquinas para o manejo da terra, e não ser dependente da utilização de fertilizantes para o crescimento das plantas.

[MOTTA, 2015], fornece um conceito ainda mais simples para uma horta vertical, segundo o autor, a horta vertical, também chamada de jardim vertical é uma técnica de cultivo voltada a adaptar a produção de alimentos, medicinais e espécies ornamentais em áreas que não possuem aptidão para o cultivo de espécies vegetais.

Um exemplo de aplicação bem-sucedida de um sistema de horta vertical, é o da empresa [AEROFARMS, 2021], que atua desde 2004 com o sistema de produção de indoor, ou seja, dentro de galpões, utilizando a técnica de cultivo aeropônico, onde, as plantas crescem sem a utilização de terra, usando apenas borrifação de água. A empresa alega que esse tipo de sistema utiliza 95% menos água e nenhum pesticida é utilizado na produção. Eles produzem durante o ano todo, independente do tipo de clima, e cultivam atualmente mais de 500 variedades de plantas.

Conforme [SOUSA; ROCHA, 2020], grandes produtores rurais buscam tecnologia a fim de reduzir mão de obra, facilitar o controle de pragas, diminuir a possibilidade de erros comuns ou até mesmo de eventos climáticos extremos e principalmente reduzir custos financeiros. Porém essa tecnologia tem um custo alto, principalmente para a implantação em todo território de cultivo, e ainda não é uma realidade para pessoas com menor poder aquisitivo. Dessa forma, o uso de hortas verticais para o cultivo de plantas mostra-se como uma grande oportunidade para grandes e pequenos produtores.

2.3 APLICATIVOS MÓVEIS

No ramo mobile cada empresa (Google, Apple e Microsoft) possui plataformas para criação de aplicativos. Podemos classificar as aplicações mobile pelo método utilizado para seu desenvolvimento em “nativas”, desenvolvidas no próprio sistema operacional ou “híbridas” desenvolvidas para múltiplas plataformas [MENDONÇA; BITTAR; DIAS, 2011].

Existem as aplicações “híbridas”, que em sua maioria utilizam JavaScript¹, HTML² e CSS³. Eles são chamados assim porque não são nem aplicativos mobile nativos, nem puramente aplicativos web. Como vantagem, eles têm acesso aos recursos acessados por API de cada dispositivo, como os Nativos. Porém, em vez de utilizar interface de usuário nativa de cada sistema operacional, a renderização para exibição do layout é feita por meio de um navegador embutido no aplicativo, que interpreta seu conteúdo JavaScript, HTML e CSS, de forma similar aos aplicativos web. Isso permite desenvolvimento multiplataforma, utilizando o mesmo HTML para diferentes sistemas operacionais. Sua única desvantagem é um desempenho mais baixo que os nativos [FREITAS, 2016].

Atualmente os sistemas operacionais mais comuns são o Android, que é um Sistema Operacional Móvel Open Source desenvolvido inicialmente pela Google e possui uma arquitetura baseada na versão 2.6 do kernel Linux para o controle das principais tarefas do sistema como segurança, gerenciamento de memória, gerenciamento de processos, pilha de rede e modelo de driver [FREITAS, 2016], e o iOS, que ainda conforme [FREITAS, 2016], e a abreviatura para iPhone Operation System sendo desenvolvido pela Apple. O sistema foi baseado no Sistema Operacional MAC OS X e projetado para atender as necessidades de aparelhos móveis desenvolvidos pela Apple.

[FREITAS, 2016], cita algumas vantagens do desenvolvimento de aplicativos mobile com relação a outros programas para outras plataformas como PC, sendo elas o tamanho menor dos aplicativos móveis, tamanho de equipe reduzida, de forma que apenas um ou dois programadores podem fazer todas as etapas de programação de um aplicativo, além de que celulares já podem se comunicar entre si, facilitando o desenvolvimento.

Conforme uma pesquisa da Fundação Getúlio Vargas [MEIRELLES, 2022], até junho de 2022 o Brasil contava com 447 milhões de dispositivos digitais, entre eles, computadores, notebooks, tablets e smartphones, e só de smartphones são 242 milhões de dispositivos, mais de 1 smartphone por habitante.

2.4 AGRICULTURA 4.0

A agricultura 4.0 é um conjunto de inovações voltadas para tecnologia avançada, visando aprimorar, otimizar e rentabilizar a produtividade no campo. Com ela, é possível manter a mesma área de plantio, aumentando a produtividade, e para isso a tecnologia é imprescindível. O desenvolvimento de software e equipamentos para gestão do sistema, geram melhorias no desempenho das máquinas e diminuem as chances de erro no processo. O agricultor, atualmente, já tem a seu dispor equipamentos de alta performance e tecnologia, que os auxiliam a produzir

¹ JavaScript é uma linguagem de programação de alto nível, ou seja, que utiliza palavras e códigos em uma sentença, ao invés de códigos binários formados por “zeros” e “uns”.

² Hypertext Markup Language ou Linguagem de Marcação de Hipertexto é uma linguagem usada para a publicação de conteúdo (texto, imagens, vídeos, áudio etc.) na web.

³ Linguagem CSS3 é um estilo de página da web.

mais, em menor tempo e com menos recursos, porém para muitos agricultores pequenos isso é um sonho distante [SANTOS; ESPERIDIÃO; AMARANTE, 2019].

As vantagens ao adotar a agricultura 4.0 são a aplicação de quantidades mínimas de insumos como água, fertilizantes e pesticidas, o que reduz a demanda por recursos naturais e o impacto ambiental. A aplicação dessas tecnologias aumentam o rendimento e a sustentabilidade das culturas, melhoram as condições de trabalho e qualidade da produção e processamento. É possível por meio do cruzamento de informações ambientais e climáticas estabelecer quais as necessidade nutricionais e de irrigação das culturas, prevenir patologias e identificar ervas daninhas. Dessa forma, é possível intervir de maneira direcionada, economizando recursos naturais e temporais, levando a outras intervenções que tem efeitos positivos na qualidade e sustentabilidade da produção [LISBINSKI et al., 2020].

Para [LISBINSKI et al., 2020], agricultura 4.0 consiste na conectividade da rede interna e externa da operações agrícolas e na integração dessas informações em uma mesma plataforma, possibilitando a tomada de decisão em tempo real. Entre as vantagens da implementação da agricultura 4.0 estão a melhoria do rendimento, da qualidade, da sustentabilidade e das condições de trabalho. Os autores também citam os desafios a serem superados como o aumento da produção de alimentos, o investimento em infraestrutura e a perda da biodiversidade.

Ainda segundo [LISBINSKI et al., 2020], a agricultura 4.0 existe a partir da aplicação de tecnologias como big data, internet das coisas, robótica, sensores, impressão 3D, integração de sistemas, conectividade ubíqua, inteligência artificial, aprendizado de máquina e muitas outras aplicadas à agricultura. O sistema que compõe a agricultura 4.0 é complexo, mas deve ser intuitivo e fácil de operar.

Com o crescimento da tecnologia no campo, começaram a surgir desafios e dificuldades para o produtor rural e a implementação da agricultura 4.0. A falta de conectividade é uma das principais dificuldades, pois o país ainda não possui uma infraestrutura que chegue a todos os pontos do campo. As regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul possuem dificuldade, porém o Norte e Nordeste são os que mais sofrem com a falta de conectividade, onde a maioria são pequenos e médios produtores, além disso, há outros problemas como a falta de recursos financeiros e mão de obra desqualificada para trabalhar com as tecnologias atuais. Para que o produtor rural possa se certificar do desenvolvimento, competitividade e sustentabilidade, é necessário ter uma melhoria nos fatores associados a tecnologia, como telecomunicações, automação, transmissão e análise de dados e computação em nuvem [SILVA; CAVICHIOLI, 2020].

A ausência de dados mais detalhados dificulta auferir de forma efetiva a oferta de conexão de banda larga no meio rural brasileiro. De acordo com o Censo Agropecuário 2017, se identificou que apenas 20% dos estabelecimentos rurais tinham acesso à internet em 2017. O estudo não mostra a qualidade do sinal recebido, ele considera que a propriedade possui acesso à internet mesmo quando apenas o acesso está disponível na sede. O estudo também mostra que os estados Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, possuem os menores graus de cobertura de internet

em estabelecimentos rurais. Estimasse que Apenas 10% do território agrícola brasileiro esteja coberto por internet 4G. O alto custo de instalação de antenas e a necessidade mínima de geração de receita fazem a conectividade só estar disponível às áreas urbanas e às grandes propriedades agropecuárias [MILANEZ et al., 2020].

Atualmente, serviços de internet via satélite tem se tornado bastante promissores para produtores rurais, entre eles se destaca a Starlink, que passou a operar no Brasil em maio de 2022. A principal vantagem do serviço da Starlink com relação aos demais fornecedores de internet via satélite, são os próprios satélites. Os satélites da Starlink ficam a uma altitude de 550Km, em órbita terrestre baixa, enquanto serviços de internet via satélite convencionais, mantêm seus equipamentos em órbita geoestacionárias, com uma distância de aproximadamente 35 mil Km do planeta. Além disso, estes serviços costumam contar com poucos satélites, normalmente um, enquanto o serviço da Starlink conta com milhares deles. Os satélites da Starlink se movimentam ao redor do planeta, podendo assim levar cobertura para os lugares mais remotos. O tempo de resposta do sinal fica entre 25ms com velocidades médias de 70Mbps. A empresa informa que a antena receptora funciona dentro de um raio de 20km a 25km do ponto cadastrado.. Atualmente a Starlink conta com planos de R\$184,00 mensais, mais o custo do equipamento de R\$2000,00, desconsiderando impostos, o que pode elevar o custo do serviço [AGROADVANCE, 2023].

O esquema de controle apresentado foi desenvolvido utilizando um módulo de tempo real DS3231, uma protoboard, uma placa RTC, uma tela LCD módulo para cartão SD, módulo para relé 5V, um sensor de Luz LDR (Light Dependent Resistor), um medidor de PH e um sensor de umidade e temperatura.

Na Figura 2 é apresentado o protótipo da horta vertical criada pelos autores. Nesta horta será aplicada o sistema de controle criado anteriormente.



Figura 2 – Protótipo de horta vertical

O protótipo de horta apresentado na figura 2 foi criado utilizando canos de PVC, uma bomba de aquário de 1000L/h, uma vaso para suporte da horta, espuma, fertilizante, peneira e mudas de plantas.

O trabalho de Teixeira e Ortolani apresenta um sistema de controle bastante acoplado a plataforma Arduino, sendo necessário mais componentes além do próprio Arduino e dos sensores necessários para realizar o controle e o monitoramento, ao contrário do trabalho proposto onde o monitoramento e controle da horta é feita de forma remota através de uma aplicação mobile, dessa forma o proprietário pode visualizar tudo sem a necessidade de estar presente.

3.2 SISTEMA DE CONTROLE APLICADO À AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA

O trabalho foi desenvolvido por Jéssica Sarto dos Reis como Trabalho de Conclusão de Curso do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema de irrigação de baixo custo

para pequenos produtores, como alternativa aos sistemas automáticos existentes e a irrigação feita de modo manual.

A autora faz uma boa descrição dos principais tipos de irrigação que são utilizadas atualmente nas plantações, focando principalmente no consumo elevado de água que esses métodos normalmente tem, fazendo uma relação com fatores econômicos que podem interferir na aquisição desses sistemas por pequenos produtores. Na Figura 3 é apresentado o protótipo criado pela autora do projeto.

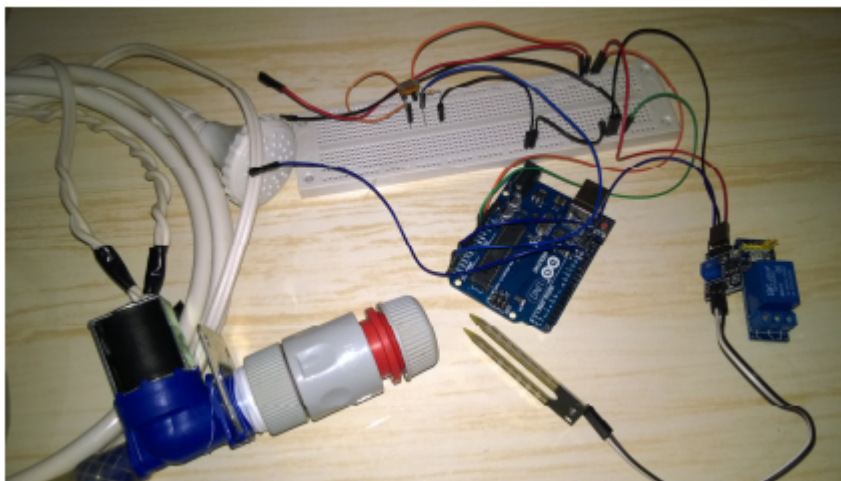


Figura 3 – Protótipo desenvolvido

Para a construção do protótipo foi utilizado uma placa Arduino ATMEGA, um sensor de luz LDR (Light Dependent Resistor), uma válvula solenóide Hunter OGV, um relé de 5V e um sensor de umidade.

O trabalho de Jéssica procura ser simples e barato, portanto ele não dispõe de nenhuma forma de medir as variáveis do ambiente da horta que será irrigada, não efetua nenhum controle um pouco mais preciso pois o sistema funciona apenas em cima da irrigação, na qual essa etapa é feita por uma controladora automática. Portanto, quaisquer outras informações, como iluminação e temperatura, não ficam disponíveis para o produtor, seja por meio de uma tela fixa no sistema, ou através da internet, podendo ter essas informações sendo lidas por uma aplicação web ou mobile.

3.3 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE IRRIGAÇÃO DE AGRICULTURA FAMILIAR COM ATMEGA

Este projeto foi criado por Kalev Guimarães de Oliveira Ferreira Marinho como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao departamento de Engenharia Mecânica da UFPE para obtenção do Bacharelado em Engenharia Mecânica. O objetivo foi desenvolver um sistema para

controlar e monitorar a irrigação aplicada na agricultura familiar, buscando diminuir desperdícios, reduzir custos e mão de obra [MARINHO, 2019].

O projeto, para manter o baixo custo, utiliza a plataforma Arduino para realizar o controle do sistema, bem como sensores e atuadores para auxiliar nas medições das variáveis do ambiente como temperatura do ar, temperatura do solo, umidade do solo e luminosidade. Com isso em vista, é realizada uma análise de como esses fatores atuam no desenvolvimento da horta. O sistema usa um método de aprendizado por regressão linear, onde o sistema deverá ser "ensinado" o horário correto para realizar a irrigação de forma automática. Na Figura 4 é apresentado um modelo do protótipo desenvolvido pelos autores.



Figura 4 – Protótipo do sistema

O protótipo foi desenvolvido utilizando um Arduino Mega 2506, um higrômetro para medição de umidade do solo, um sensor LDR (Light Dependent Sensor), um sensor de umidade e temperatura do ar DHT22, um sensor de temperatura DS18B20, um medidor de fluxo de água, uma válvula solenoide, um módulo relé de 5V, um módulo LCD, um módulo i2C utilizado para simplificar a conexão entre o módulo LCD e o Arduino, e também foi utilizado um módulo Bluetooth modelo HC-05.

O sistema apresenta três deficiências notáveis:

- O sistema precisa ser "ensinado" quando deve ser efetuado a irrigação, conforme o autor diz, é necessário que nas primeiras 20 aplicações de água, o produtor deve acionar o sistema manualmente para que ele aprenda.

- Não armazena os dados necessário para controle da irrigação, de modo que, quando o dispositivo é desligado, perde-se tudo, necessitando que o sistema seja retreinado.
- Também não há uma forma de monitorar as variáveis do ambiente, seja de forma local ou remota, fazendo com que o sistema acabe sendo acionado mesmo sem necessidade. Por exemplo caso chova o sistema ainda irá realizar a irrigação normalmente.

4 HIGH CROPS

O Projeto High Crops é um aplicativo para dispositivos móveis Android, criado com o objetivo de atender a uma necessidade do projeto Horta Suspensa Auto-irrigável, criado pelos alunos e professores do laboratório LIMS do Instituto Federal do Piauí, no campus Teresina - Central. O objetivo é criar um sistema simples de uso para o monitoramento e controle dos sensores utilizados no projeto da horta.

Todo o projeto foi construído utilizando ferramentas modernas, gratuitas e de fácil acesso disponíveis no momento do desenvolvimento da aplicação. O estado atual da aplicação permite o monitoramento e controle dos sensores que estão em funcionamento. Futuramente pretende-se que o aplicativo esteja disponível para o público em geral, de modo que ele cumpra com o seu objetivo social.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO

O Sistema foi desenvolvido utilizando o framework¹ para desenvolvimento de aplicativos móveis Expo². O framework trabalha em cima do React Native³ que é muito similar ao ReactJS⁴, desenvolvido pela Meta (anteriormente Facebook). A escolha por esse framework deu-se pela facilidade de configuração, e criação de *builds* que o framework possui, eliminando a necessidade de alterar o código nativo resultante da compilação do aplicativo.

O Expo, juntamente com React Native, auxilia apenas no desenvolvimento da interface de usuário, portanto, se fez necessário utilizar outro serviço para o backend, e para isso foi escolhido o Firebase⁵, dessa forma todos os serviços que precisariam ser construídos do início, como autenticação, armazenamento de dados, armazenamento de arquivos, comunicação em tempo real, e monitoramento do aplicativos são geridos pelo Firebase, agilizando a entrega do produto e permitindo que o desenvolvedor mantenha o foco apenas na interface de usuário.

4.2 APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DA APLICAÇÃO

Aqui será apresentada algumas capturas de tela do protótipo aplicativo rodando em um *smartphone android*. Inicialmente o projeto conta com 5 telas, onde o usuário poderá ver ou executar alguma ação em cada uma delas. Na aplicação é possível que o usuário realize o seu

¹ Framework é um conjunto de ferramentas que servem para a construção de um sistema

² Expo é um framework de código aberto para desenvolvimento de aplicações nativas para Android, iOS e Web

³ React Native, é uma biblioteca de desenvolvimento de interfaces de usuário desenvolvido pelo Facebook

⁴ ReactJS é uma biblioteca para desenvolvimento de interfaces Web

⁵ Firebase é um backend-as-a-service fornecido pelo Google e que provê uma série de funcionalidade já prontas para auxiliar o desenvolvimento de aplicações mobile

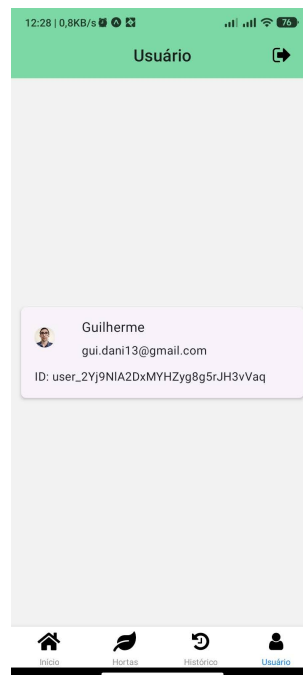
cadastro, após isso ele poderá realizar a configuração de uma hortalça em cada um dos sensores disponíveis. Ao adicionar uma hortalça é possível configurar os parâmetros suportados por ela:

- Nome
- Umidade mínima: que é medido em porcentagem.
- Ativar / Desativar irrigação automática: a irrigação é realizada de forma automática pelo sistema, onde a válvula permanece aberta por 5 segundos, e o sistema realiza a abertura e fechamento da válvula até que a medida de umidade mínima seja atingida.

Após o cadastro inicial, que, inicialmente só pode ser feito através de login via conta Google, o usuário é direcionado para a tela inicial, com informações sobre os sensores de temperatura e umidade do ar. Para que os demais sensores de umidade do solo fiquem operacionais, é necessário que o usuário insira seu id, presente na tela de detalhes do usuário, no Web Server iniciado pela aplicação no endereço <http://10.0.0.105:80>, que pode ser acessado através de qualquer navegador. A configuração de acesso de internet pelo dispositivo pode ser adicionada futuramente, mas para os fins desse trabalho, o login e senha de acesso a rede foram fixadas no código da placa.

Na Figura 5 é mostrado a página do usuário.

Figura 5 – Usuário



Fonte: Próprio autor

Esta página contém informações como:

- Nome
- Foto
- E-mail
- Id do usuário, necessário para a configuração do sistema através do Web Server

Na Figura 6 é mostrada a página inicial da aplicação com as informações dos sensores utilizados.

Figura 6 – Página inicial

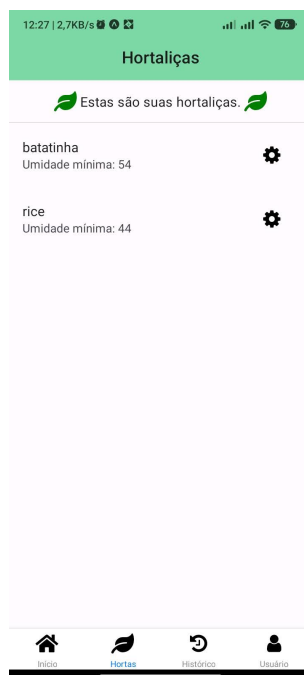


Fonte: Próprio autor

Os sensores apresentados são de temperatura, umidade do ar e umidade do solo dos dois sensores utilizados no projeto.

Na Figura 7 é exibido a página com as hortaliças cadastradas.

Figura 7 – Hortaliças

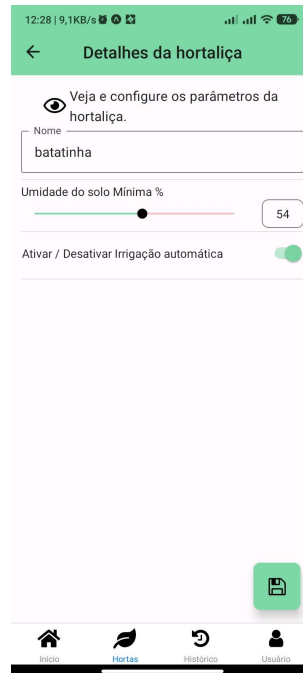


Fonte: Próprio autor

Essa tela já vem previamente preenchida de acordo com a quantidade de sensores disponíveis, bastando ao usuário adicionar um nome de sua preferência para cada sensor na configuração dos sensores.

Na Figura 8 mostra a tela com as configurações possíveis para cada sensor.

Figura 8 – Detalhe da horta



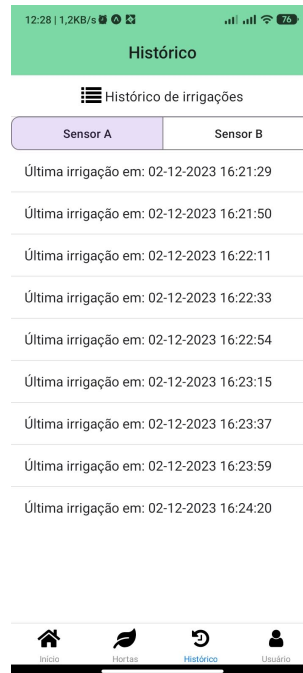
Fonte: Próprio autor

As configurações disponíveis no momento são:

- Nome: nome da horta utilizada naquele sensor.
- Umidade mínima: parâmetro utilizado para que o sistema decida quando a irrigação deve ser iniciada. O sistema efetua a rega de forma automática, e para apenas quando os valores de leitura obtidos atendam ao mínimo configurado.
- Ativar / Desativar irrigação automática: controla se a irrigação será automática ou não. O usuário pode desativar para realizar alguma manutenção na horta, por exemplo. Também é útil para economizar cota do Firebase caso não esteja sendo efetivamente utilizado para o monitoramento de alguma horta.

Abaixo é apresentado na Figura 9 a tela de histórico.

Figura 9 – Histórico



Fonte: Próprio autor

Nesta tela o usuário poderá acompanhar o histórico de irrigações realizados pelo sistema. Aqui são exibidos os 2 sensores utilizados neste trabalho, com um exemplo de como são exibidos as irrigações.

Na Figura 10 a seguir é apresentado a tela do web server que é iniciado quando o sistema é ligado.

Figura 10 – Web Server (Navegador)

HIGH CROPS - Web Server

Digite o ID do usuário:

O ID pode ser encontrado na tela de usuário do app.

Fonte: Próprio autor

A tela do web server é necessária apenas para que o usuário insira o id que é gerado quando ele realiza o login no app. Esse id é necessário para que o sistema inicie as leituras e lance elas no firebase.

4.3 COMPONENTES DO PROJETO

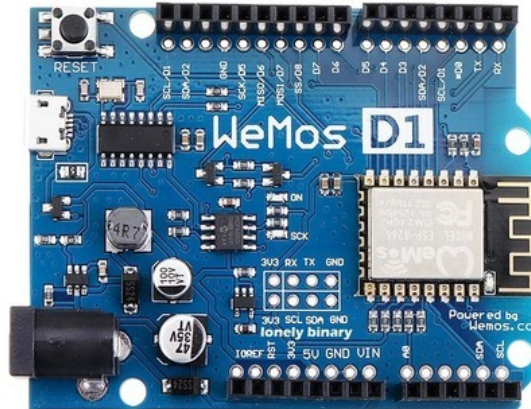
Para confecção da bancada de testes do projeto foram utilizados os seguintes componentes:

- Wemos d1 r2 mini ESP8266
- Sensor de umidade do ar e temperatura DHT11
- 2 Sensores de umidade do solo HW-080 em conjunto com um comparador HW-103 cada
- Protoboard
- Jumpers

4.3.1 PLACA WEMOS D1 R2 ESP8266 12E WIFI (K1)

A Figura 11 a seguir mostra o modelo de placa utilizada no projeto.

Figura 11 – Wemos D1 R2



Fonte: PIAUINO, 2023

A placa Wemos D1 R2 ESP8266, é um dos diversos clones existentes da plataforma Arduino, mais especificamente da Arduino UNO, mas com a diferença que ela é controlada pelo módulo ESP8266, que adiciona a funcionalidade rede sem fio para a placa, e reduz bastante o custo de aquisição. Ela conta com uma controladora ESP8266EX, 11 pinos digitais de I/O, 1 entrada analógica, aceita alimentação externa entre 9V e 24V e tem pinos de saída de 3.3V [PIAUINO, c].

4.3.2 Sensor de umidade do solo HW-080 e comparador HW-103

A Figura 12 a seguir mostra o modelo de sensor de umidade do solo utilizado no projeto.

Figura 12 – Sensor de umidade do solo



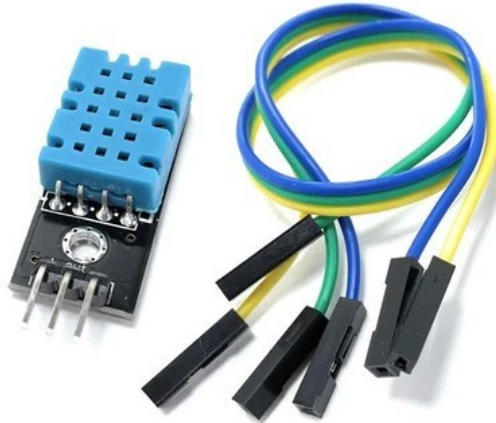
Fonte: PIAUINO, 2023

Este é um sensor projetado para identificar variações na umidade do solo. Quando o solo está seco, a saída fica em estado alto, e quando está úmido em estado baixo. Este sensor é combinado com um comparador HW-103 que contém um potenciômetro para regular a saída digital [PIAUINO, a]

4.3.3 Sensor de umidade do ar e temperatura DHT11

A Figura 13 a seguir mostra o modelo de sensor de umidade e temperatura do ar utilizado no projeto.

Figura 13 – Sensor de umidade e temperatura do ar DHT11



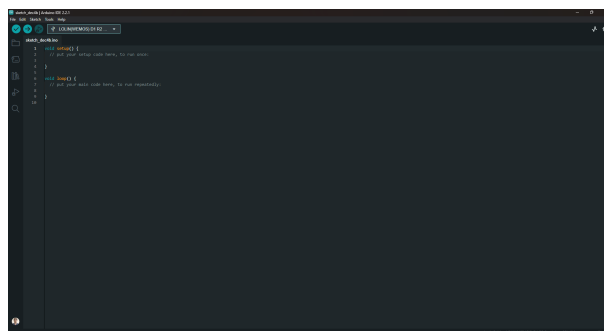
Fonte: PIAUINO, 2023

Este módulo realiza a medição de temperatura e umidade. Podendo medir a variações de temperatura nas escalas de 0° a 50° Celsius com uma precisa de 2°C e a umidade do ar na faixa de 20% a 90% com uma precisão de 5%. Esse sensor recebe uma alimentação de 3V a 5.5V e conta com um pino de saída digital para leitura dos dados [PIAUINO, b].

4.3.4 Arduíno IDE

Para que fosse possível criar e passar o código criado para a placa wemos, foi utilizado o programa Arduíno IDE para tal, conforme é apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Arduíno IDE



Fonte: PIAUINO, 2023

A IDE Arduíno, bastante difundida entre entusiastas de microeletrônica, pode ser usada para programar uma vasta gama de placas e microcontroladores disponíveis a baixo custo. Em

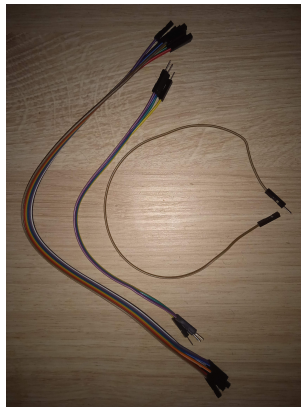
especial, os módulos que contêm o microcontrolador ESP8266, como é o caso da Wemos [OLIVEIRA, 2017].

4.3.5 Demais componentes

4.3.5.1 Jumpes (cabos)

A Figura 15 a seguir mostra um exemplo dos Jumpers (cabos) utilizados no projeto.

Figura 15 – Jumpers



Fonte: Próprio autor

O uso desse tipo de cabo é ideal para efetuar conexões entre componentes eletrônicos em projetos pessoais que utilizam plataformas como ESP8266, Arduíno ou outros microcontroladores. As pontas são isoladas por uma material não condutivo, garantindo segurança ao efetuar as ligações. Normalmente os cabos são enviados grudados um ao outro, mas podem ser destacados para uso individual. Os jumpers são divididos entre tipo macho-macho, macho-fêmea e fêmea-fêmea [SILVA et al., 2023].

4.3.5.2 Fonte de alimentação

A seguir é apresentado uma imagem do modelo de fonte de alimentação utilizado para fornecer energia ao sistema.

Figura 16 – Fonte de alimentação



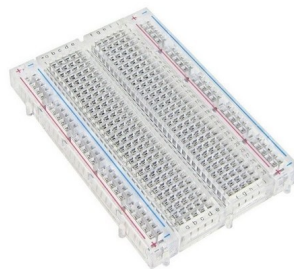
Fonte: Próprio autor

As especificações da Wemos D1 R2 informam que ela aceita uma fonte de energia de 9V até 24V, mas pela falta desse tipo de fonte, foi utilizada uma fonte que fornece 5V (volts) de energia a 1A (ampere) e o sistema se comportou sem problemas.

4.3.5.3 Protoboard

A Figura 17 a seguir mostra um exemplo de protoboard utilizada no projeto.

Figura 17 – Protoboard



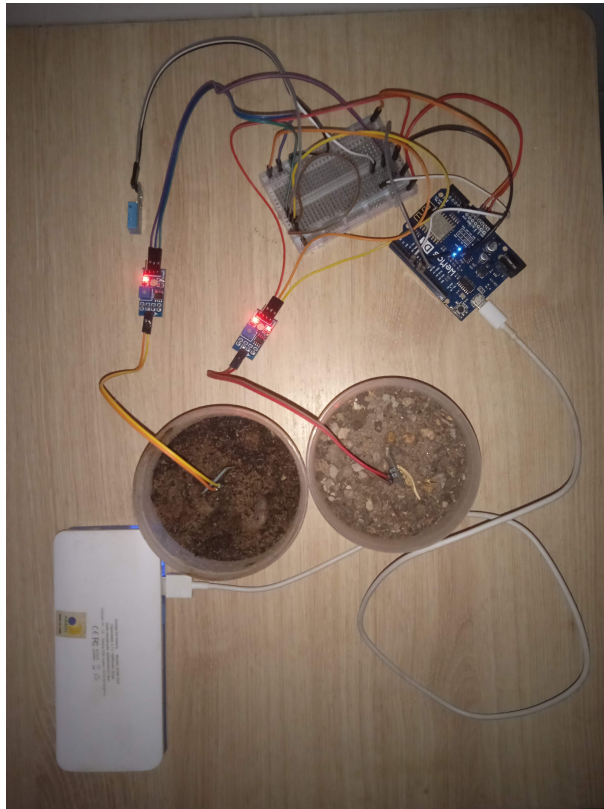
Fonte: (PIAUINO, 2023)

Protoboard é uma placa que possui furos e conexões internas para montagem de circuitos, muito utilizadas para testes de componentes eletrônicos, projetos eletrônicos pessoais, ou protótipo. Sua maior vantagem é a de que ela dispensa a necessidade de solda para realizar a conexão entre os circuitos eletrônicos [SILVA et al., 2023]. No projeto foi utilizada uma protoboard de 400 pontos, mas existem diversos modelos com mais e menos pontos.

4.3.6 Projeto montado

A Figura 18 a seguir mostra como o projeto ficou montado.

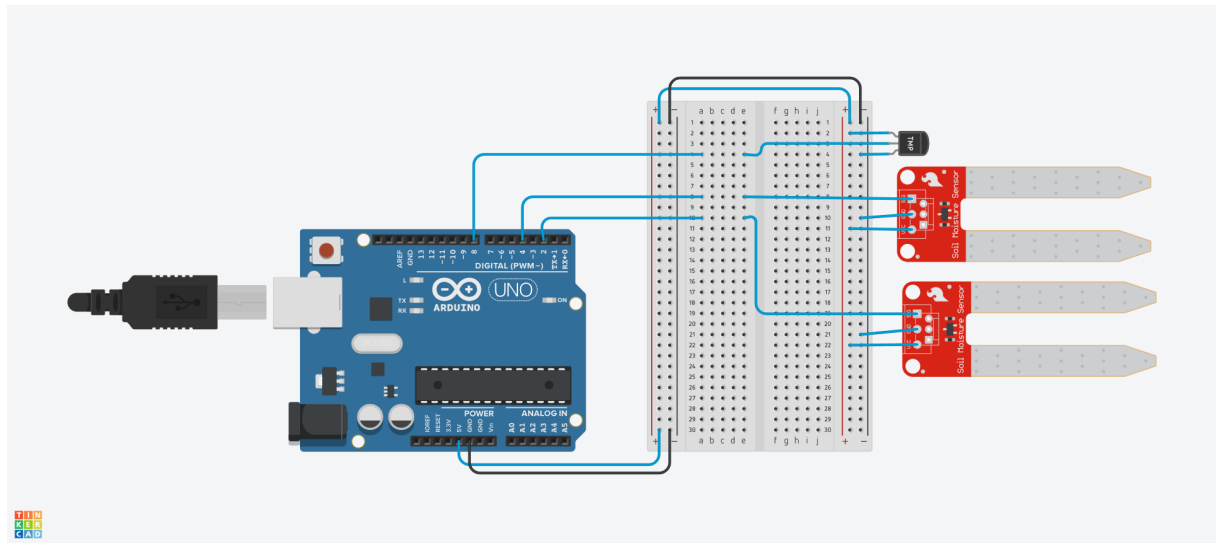
Figura 18 – Projeto montado



Fonte: Próprio autor

A configuração de montagem do projeto da bancada é realizada da seguinte forma: aqui a protoboard serve como uma forma de estender as conexões de 5V da placa e GND (terra). A imagem a seguir 19, criada no site thinkercad.com, exemplifica melhor como as conexões da placa estão dispostas. O site não possui a placa utilizada no projeto, mas possui uma Arduino UNO, que é a placa que foi utilizada como base para a criação da Wemos D1 R2.

Figura 19 – Exemplo do projeto no Tinkercad



Fonte: Próprio Autor

As conexões VCC (energia) e GND (terra) de cada sensor, estão conectadas juntamente com o VCC e GND da placa. As saídas digitais dos sensores de umidade estão conectadas com as entradas digitais 2 e 4 da placa. E o sensor de umidade e temperatura do ar (em preto) está com a sua saída conectada com a porta de número 8 da placa.

4.4 CUSTOS

A Tabela 1, mostra o quanto foi gasto para o desenvolvimento do protótipo desse projeto.

Tabela 1 – Tabela de custos do projeto

Produto	Local de compra/consulta	Data da compra/consulta	valor
Wemos	https://www.piauino.com.br/pd-650941-placa-wemos-d1-r2-esp8266-12e-wifi-k1	04/12/2023	R\$ 64,61
Jumper macho-macho	https://www.piauino.com.br/pd-650748-kit-jumper-macho-macho-premium-x10-30cm	28/09/2023	R\$ 4,78
Jumper macho-femea	https://www.piauino.com.br/pd-6a4c15-kit-jumper-macho-femea-premium-x10-30cm	28/09/2023	R\$ 4,78
Jumper femea-femea	https://www.piauino.com.br/pd-6ce0d7-kit-jumper-femea-femea-premium-x10-30cm	28/09/2023	R\$ 4,65
Sensor de umidade do solo	https://www.piauino.com.br/pd-443496-modulo-sensor-de-umidade-do-solo-para-arduino	28/09/2023	R\$ 12,23
Sensor de umidade do solo	https://www.piauino.com.br/pd-443496-modulo-sensor-de-umidade-do-solo-para-arduino	28/09/2023	R\$ 12,23
Sensor DHT11	https://www.piauino.com.br/pd-9392db-modulo-sensor-dht11-temperatura-e-umidade	04/12/2023	R\$ 20,96
Protoboard	https://www.piauino.com.br/pd-83355e-protoboard-cristal-transparente-400-pontos	04/12/2023	R\$ 17,43
Total			R\$ 141,67

Fonte: Próprio Autor

Pesquisando sobre outros sistemas de rega automática existentes no mercado, é possível encontrar os mais diversos modelos, de diversas marcas. Os preços também oscilam bastante, com os mais baratos custando na casa dos R\$100,00, podendo chegar a mais de R\$700,00, como é mostrado na Tabela 2:

Tabela 2 – Tabela de preços de produtos similares

Produto	Local de consulta	Data da consulta	valor
Sistema De Rega Automática Timed Waterer Device Garden	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3864508088-sistema-de-rega-automatica-timed-waterer-device-garden-_JM	04/12/2023	R\$ 137,58
Temporizador De Rega De Irrigação Programável De Automática	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3137265865-temporizador-de-rega-de-irrigacao-programavel-de-automatica-_JM	04/12/2023	R\$ 120,30
Kit Irrigação Automática - Até 16 Vasos	https://www.growplant.com.br/irrigacao-automatica.html	04/12/2023	R\$ 787,42

Fonte: Próprio Autor

Todos os produtos pesquisados, apesar de terem uma grande variação no preço, eles possuem algo em comum, que é o fato de serem automatizados utilizando cronômetros digitais, contando o intervalo entre dias para a rega e o tempo de duração da rega. Esses produtos desconsideram fatores como a chuva, caso a planta esteja em local aberto, o que pode já deixar o solo úmido, fazendo com que não seja necessário uma segunda rega.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a ferramenta High Crops, uma solução para o controle e monitoramento de irrigação de horta verticais. Para tal, foi realizado um estudo sobre hortas, automações, e a aplicação da tecnologia no campo como forma de aumentar a produtividade. O sistema desenvolvido para atender a essa necessidade, foi criado utilizando técnicas e ferramentas modernas e acessíveis como React Native para a criação da aplicação para controle e monitoramento, e ESP8266 para a realização da irrigação.

A solução alcançou seu objetivo de possuir baixo custo e ser fácil de operar, pois foram utilizadas arquiteturas modernas que permitem a criação de interface amigáveis para a utilização do usuário final. O hardware necessário para a realização dos testes possui baixo custo de aquisição, também é de fácil operação, montagem e manutenção. A comunicação entre o software da aplicação móvel e o hardware é realizada utilizando o sistema Firebase, disponibilizado pelo Google, e que possui um plano grátis, o que ajuda na redução dos custos totais para a operação do sistema. O sistema foi testado em um modelo de bancada, utilizando jarros com terra seca e úmida. Os testes mostraram que o sistema é capaz de identificar quando a terra está com baixa umidade, e emite o comando para a realização da irrigação.

O sistema proposto apresenta as vantagens de ser eficiente, pois irriga as plantas de maneira automática sem a necessidade de intervenção humana, conveniente, podendo ser controlado remotamente, e econômico, pois utiliza somente a quantidade de água necessária. Além disso ele pode ser utilizado em diferentes tipos de hortas verticais e com diferentes tipos de plantas.

6 TRABALHO FUTUROS

Para trabalhos futuros pretende-se aumentar a capacidade de plantas que podem ser irrigadas pelo sistema. Atualmente o sistema comporta a irrigação de apenas 2 plantas. Para tal necessitaria que se utilizassem mais sensores de umidade do solo o que eleva os custos do projeto e a sua complexidade. Também há a necessidade de realização de testes no mundo real, em produções de hortaliças, para que as necessidades dos usuários fossem expostas, fazendo assim com que os recursos da aplicação aumentassem, tornando ela ainda mais valiosa e indispensável para o usuário final.

Outra melhoria que pode ser feita, é utilizar um sistema de irrigação por gotejamento. Esse tipo de sistema permite que a aplicação de água possa ser feita diretamente na base das plantas, economizando mais água e evitando desperdício. Além disso, também poderia ser adotada o sistema de irrigação por microaspersão, que permite que água seja aplicada uniformemente sobre as plantas, e é um método muito utilizado em hortas verticais com um grande número de plantas.

REFERÊNCIAS

- AEROFARMS. *How we grow aeroponic technology*. [S.l.]: AeroFarms - Vertical Farming, Elevated Flavor.™, 2021. <<https://www.aerofarms.com/how-we-grow/>>. Accessed: 2023-6-28. Citado na página 13.
- AGROADVANCE. *Starlink: internet via satélite que impulsiona a conectividade rural e beneficia fazendas*. 2023. Disponível em: <<https://agroadvance.com.br/blog-starlink-internet-rural-via-satelite/>>. Citado na página 16.
- ALVARENGA, A. C.; FERREIRA, V. H.; FORTES, M. Z. Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar. *Sinergia, São Paulo*, v. 15, n. 4, p. 311–318, 2014. Citado na página 12.
- CUNHA, K. C. B. da; ROCHA, R. V. D. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma arduino. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, v. 1, n. 2, p. 62–74, 2015. Citado na página 10.
- FREITAS, C. d. Análise dos métodos e da infraestrutura para o desenvolvimento da aplicação mobile tiupar. *Trabalho de conclusão de curso (Graduação)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Engenharia Eletrônica e de Computação*, 2016. Citado na página 14.
- LISBINSKI, F. C. et al. Perspectivas e desafios da agricultura 4.0 para o setor agrícola. *Anais..[do] VIII Simpósio da Ciência do Agronegócio*, 2020. Citado na página 15.
- MARINHO, K. G. d. O. F. *Desenvolvimento de sistema de monitoramento e controle de irrigação de agricultura familiar com ATMEGA*. Dissertação (B.S. thesis), 2019. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 20.
- MEIRELLES, F. S. *Panorama do Uso de TI no Brasil - 2022*. [S.l.]: FGV, 2022. <<https://portal.fgv.br/artigos/panorama-uso-ti-brasil-2022>>. Accessed: 29/06/2023. Citado na página 14.
- MENDONÇA, V. R. L. de; BITTAR, T. J.; DIAS, M. de S. Um estudo dos sistemas operacionais android e ios para o desenvolvimento de aplicativos. 2011. Citado na página 13.
- MILANEZ, A. Y. et al. Conectividade rural: situação atual e alternativas para superação da principal barreira à agricultura 4.0 no brasil. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2020. Citado na página 16.
- MONDO, V. H. V. et al. Efeitos da luz e temperatura na germinação de sementes de quatro espécies de plantas daninhas do gênero digitaria. *Revista Brasileira de sementes*, SciELO Brasil, v. 32, p. 131–137, 2010. Citado na página 12.
- MOTTA, V. Determinação de sistema de cultivo de alimentos em hortas verticais. In: *V Congresso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (7 al 9 de octubre de 2015, La Plata)*. [S.l.: s.n.], 2015. Citado na página 13.

NETO, H. M. T. et al. Automação residencial para monitoramento e irrigação automática de culturas de tomates em hortas verticais. Centro Universitário do Estado do Pará, 2017. Citado na página 10.

OLIVEIRA, S. de. *Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI*. [S.l.]: Novatec Editora, 2017. Citado na página 32.

PIAUINO. *MODULO SENSOR DE UMIDADE DO SOLO PARA ARDUINO*. Disponível em: <MODULOSENSORDEUMIDADEDOSOLOPARAARDUINO>. Citado na página 30.

PIAUINO. *MODULO SENSOR DHT11 TEMPERATURA E UMIDADE*. Disponível em: <<https://www.piauino.com.br/pd-9392db-modulo-sensor-dht11-temperatura-e-umidade.html?ct=&p=1&s=1>>. Citado na página 31.

PIAUINO. *PLACA WEMOS D1 R2 ESP8266 12E WIFI (K1)*. Disponível em: <<https://www.piauino.com.br/pd-650941-placa-wemos-d1-r2-esp8266-12e-wifi-k1.html?ct=&p=1&s=1>>. Citado na página 29.

REIS, J. S. d. *Sistema de controle aplicado à automação de irrigação agrícola*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. Citado na página 11.

RESENDE, F. V. et al. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. *Ciência e agrotecnologia*, SciELO Brasil, v. 29, p. 100–105, 2005. Citado na página 13.

ROSARIO, J. M. *Automação industrial*. [S.l.]: Editora Baraúna, 2009. Citado na página 12.

SANTOS, T. C. dos; ESPERIDIÃO, T. L.; AMARANTE, M. dos S. Agricultura 4.0. *Revista Pesquisa e Ação*, v. 5, n. 4, p. 122–131, 2019. Citado na página 15.

SILVA, D. M. A. et al. Sensor de nível de água tipo bóia. 026, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.

SILVA, J. M. P.; CAVICHIOLO, F. A. O uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo. *Revista Interface Tecnológica*, v. 17, n. 2, p. 616–629, 2020. Citado na página 15.

SOUSA, A. V.; ROCHA, R. V. O uso da automação para aprimorar o cultivo do pequeno produtor. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, v. 6, n. 1, p. 20–41, 2020. Citado na página 13.

TEIXEIRA, F. H.; ORTOLANI, L. B. *Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo de hortas verticais como um produto para o mercado*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 10, 12 e 13.

UNIDAS, O. das N. *Fome cresce no mundo e atinge 9,8% da população global*. 2022. <<https://news.un.org/pt/story/2022/07/1794722>>. Acessado em: 28/06/2023. Citado na página 10.