



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa
Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica

ECLÉSIO DOS SANTOS ROCHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO INTELIGENTE CONTROLADO POR
DISPOSITIVO REMOTO**

Bom Jesus da Lapa–BA
Fevereiro de 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA

Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa

Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica

Eclésio dos Santos Rocha

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
INTELIGENTE CONTROLADO POR DISPOSITIVO REMOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Messias Silva Júnior

Bom Jesus da Lapa-BA

Fevereiro de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

R672

Rocha, Eclésio dos Santos

Desenvolvimento de um sistema de irrigação inteligente controlado por dispositivo remoto. / Eclésio dos Santos Rocha. – 2025.

58f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Messias da Silva Júnior

TCC - Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2025.

1. Redes Neurais. 2. Irrigação. 3. Engenharia Elétrica. I. Silva Júnior, Manoel Messias da. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 006.32

Biblioteca Universitária de Bom Jesus da Lapa – UFOB

FOLHA DE APROVAÇÃO

ECLÉSIO DOS SANTOS ROCHA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO INTELIGENTE CONTROLADO POR DISPOSITIVO REMOTO

Esta monografia foi aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, aprovada em sua forma final pelo Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia.

Bom Jesus da Lapa, 27 de Fevereiro de 2025

Prof. Dr. Manoel Messias Silva Júnior (UFOB)
(Orientador)

Prof. Dra. Stefânia de Oliveira Silva (UFOB)

Prof. Elias Guimaraes Miranda Barbosa da Silva (UFOB)

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à Deus, por estar sempre me dando forças para continuar, pois sem ele certamente não seria possível essa conquista.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha família, com destaque para meus amados pais, Adelcio Alves da Rocha e Janice Rosa dos Santos Rocha, bem como aos meus queridos irmãos, Erico e Eduardo. Também quero lembrar com carinho da minha adorável avó, Helena Alves da Rocha, que já nos deixou. A todos vocês, meu profundo agradecimento por sempre estarem ao meu lado, apoiando-me e acreditando em mim ao longo desta jornada.

A todos os professores com quem tive a oportunidade de conhecer durante esse período de graduação, em especial a meu orientador Dr. Manoel Messias Silva Júnior pelo privilégio de me aceitar como orientando e pelas contribuições no meu aprendizado e formação pessoal.

Aos meus amigos pelo apoio, parceria e companheirismo prestados durante todos esses anos.

Resumo

A água e a energia elétrica são recursos preciosos frequentemente utilizados de maneira ineficiente na irrigação tradicional, causando desperdício de recursos. Equipamentos inteligentes vêm sendo empregados de maneira eficiente no gerenciamento dos sistemas agrícolas, como consequência, tem proporcionado aumento da produção e redução nos custos. A finalidade deste projeto é desenvolver um sistema automatizado de controle de irrigação que contemple melhorias no controle do cultivo e produção. Oferecendo benefícios como: baixo custo, monitoramento à distância, informações em tempo real do sistema e interface interativa. Esse sistema não apenas aciona bombas e válvulas para irrigação, mas também oferece recursos de monitoramento e controle remoto por meio de sensores e atuadores. O sistema de automação remota de irrigação assegura praticidade e melhorias no manejo das culturas. Este fator é determinante para garantir boa administração, permitindo ao produtor explorar todo seu potencial produtivo. Diversas empresas disponibilizam sistemas capazes de automatizar e monitorar ambientes agrícolas, entretanto, muitos não possuem um sistema integrado de monitoramento remoto. Sendo que esse, quando existente, requer altos investimentos, impossibilitando seu uso por pequenos produtores rurais. Neste contexto, propõe-se a confecção de um dispositivo para criar um sistema de controle automático aplicado a irrigação de pequeno porte, que apresente as seguintes características: baixo custo de implementação; eficiência na produção e informações sobre o custo gerado. Além de desenvolver a IHM ¹, módulos, em conjunto com o *firmware* para aplicação no sistema, e, por fim, avaliar o sistema com testes de desempenho na plataforma IoT Remote². Ao final deste trabalho, espera-se obter um sistema que traga contribuições reais para a agricultura de pequenos produtores, tornando-os mais eficientes, econômicos e com um baixo custo de implementação.

Palavras-chave: Automação de Irrigação; ; Monitoramento agrícola remoto; *Firmware*³.

¹IHM: Interface Homem Máquina.

²IoT Remote: *Software* de gerenciamento de dispositivos.

³Firmware: Controla dispositivos eletrônicos embutidos.

Abstract

Water and electricity are precious resources that are often used inefficiently in traditional irrigation, causing resources to be wasted. Intelligent equipment has been used efficiently to manage agricultural systems, which has led to increased production and reduced costs. The aim of this project is to develop an automated irrigation control system that improves crop and production control. It offers benefits such as: low cost, remote monitoring, real-time system information and an interactive interface. This system not only drives pumps and valves for irrigation, but also offers remote monitoring and control capabilities via sensors and actuators. The remote irrigation automation system ensures practicality and crop management. This is a determining factor in ensuring good management, allowing producers to exploit their full production potential. Several companies offer systems capable of automating and monitoring agricultural environments, but many do not have an integrated remote monitoring system. If it exists, it requires high investments, making it impossible for small farmers to use it. In this context, it is proposed to make a device to create an automatic control system applied to small irrigation, which has the following characteristics: low implementation cost; production efficiency and information on the cost generated. In addition to developing the HMI, modules, together with the firmware for application in the system, and finally, evaluating the system with performance tests on the IoT Remote platform. At the end of this work, it is hoped to obtain a system that will make real contributions to smallholder farming, making them more efficient, economical and with a low implementation cost.

Keywords: Automation; Irrigation; Monitoring; Firmware.

Lista de Figuras

1	Diagrama geral de desenvolvimento da proposta	16
2	Esquemático de sistema de irrigação.	25
3	Irrigação por Aspersão.	27
4	Irrigação por Gotejamento.	28
5	Irrigação Superficial.	29
6	Panorama geral do protótipo	39
7	Sensor DL-69	40
8	Sensor DHT11	41
9	Relé de 5V	42
10	Circuito Elétrico	46
11	Montagem experimental	47
12	Montagem sistema de bombeamento	47
13	Sistema montado	48
14	Sistema Geral	48
15	Display IHM	49
16	Interface <i>Smartphone</i>	50
17	Interface <i>Web</i>	50

Lista de Tabelas

2	Principais controladores de irrigação presentes no mercado	33
3	Especificações do sensor de umidade do solo	40
4	Especificações do sensor DHT11	41

Lista de Quadros

1	Principais referências bibliográficas consultadas	18
---	---	----

Lista de Abreviaturas, Acrônimos e Siglas

A/D	Analógico/Digital
ADC	<i>Analogue-to-Digital Converter</i> (Conversor Analógico/Digital)
ASIC	<i>Application-Specific Integrated Circuit</i> (Aplicativo para circuito integrado)
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CPU	<i>Central Processing Unit</i> (Unidade Central de Processamento)
D/A	Digital/Analógico
DAC	<i>Digital-to-Analog Converter</i> (Conversor Digital/Analógico)
DSP	<i>Digital Signal Processor</i> (Processador de sinal digital)
ESP32	Micricontrolador <i>Espressif</i> de 32 bits
E/S	Entrada/Saída
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i> (Matriz de portas programáveis)
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto)
IDE	<i>Integrated development environment</i> (Ambiente de desenvolvimento integrado)
IHM	Interface Homem-Maquina
IoT	<i>Internet of Things</i> (<i>Internet</i> das Coisas)
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (<i>Display</i> de cristal líquido)
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
MLP	<i>Multilayer perceptron</i>
PC	<i>Personal Computer</i> (Computador pessoal)
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de acesso aleatório)
ROM	<i>Read Only Memory</i> Memória de leitura
SE	Sistema Embarcado
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i> (Rede sem fio)

Lista de Símbolos

A	Ampere
°C	Graus Celsius
h	Hora
%	Porcentagem
m	Metro
mA	Miliampere
ms	Milisseguno
V	Volt
R_f	Resistência do condutor na temperatura final
R_i	Resistência do condutor na temperatura inicial
α	Coefficiente de temperatura
$\Delta\theta$	Diferença de temperatura inicial e final

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	METODOLOGIA DA PESQUISA	16
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3.1	SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	24
3.2	IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO	25
3.3	TIPOS DE IRRIGAÇÃO	26
3.3.1	Irrigação por Aspersão	26
3.3.2	Irrigação por Gotejamento	27
3.3.3	Irrigação Superficial	28
3.4	ESCOLHA DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	29
3.4.1	Tipo de Solo e Cultura	29
3.4.2	Disponibilidade de Água	30
3.4.3	Custo e Eficiência Energética	30
3.4.4	Clima Local e Variações Sazonais	31
3.5	<i>INTERNET</i> DAS COISAS	31
3.6	SISTEMAS DE CONTROLE DE IRRIGAÇÃO	32
3.6.1	Controladores de Irrigação Automáticos	32
3.6.2	Sistemas de Monitoramento e Controle Remoto	34
3.6.3	Automatização de Bombas e Válvulas	34
3.7	PROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS	35

3.7.1	Microcontroladores	36
3.7.2	ESP32	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	MONTAGEM EXPERIMENTAL	38
4.2	SENSORES	38
4.2.1	Sensor de Umidade do Solo	39
4.2.2	Sensor de Umidade Relativa do Ar	40
4.3	RELÉS	41
4.4	MÓDULOS	42
4.4.1	Módulo Sensor	42
4.4.2	Módulo Atuador	43
4.5	INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	43
4.6	PROGRAMAÇÃO DO ESP32	43
5	RESULTADOS	45
5.1	SIMULAÇÃO	45
5.2	APLICAÇÃO PRÁTICA	46
5.2.1	Interfaces	49
5.2.2	Considerações	49
6	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	57

INTRODUÇÃO

Atualmente há vários dispositivos usados em campos de irrigação para programação de setores que controlam a frequência e tempo da irrigação com datas e horas programadas pelo usuário, além da capacidade de acoplar sensores de umidade, temperatura e chuva, desempenhando um papel fundamental na modernização e otimização da agricultura (GUIMARÃES, 2011). Com o passar do tempo se tornaram ferramentas indispensáveis para lavouras de grande porte, se fazendo uma boa opção para o pequeno e médio produtor, porém inviável economicamente, devido ao custo de implementação. Apesar dos sistemas de irrigação inteligentes serem projetados para fornecer água de forma eficiente, economizando recursos hídricos e aumentando a produtividade das culturas, ainda sim, tem custo de implementação elevado. A agricultura é o ramo que mais consome água no Brasil, muitas vezes extraídos de reservatórios naturais como rios e poços que muitas vezes requerem um trabalho mecânico para deslocamento da água até as represas, açudes ou até ligadas diretamente as formas de irrigação como: irrigação por superfície, aspersão, micro aspersão, gotejamento, subsuperficial, sulco, entre outros (ROSTON, 2021).

O trabalho mecânico requerido para transporte da água do reservatório até as lavouras é feito em sua maioria por bombas elétricas, que conseqüentemente faz com que o setor produtivo agropecuário se torne a uma prática que consome bastante energia elétrica, sendo um dos custos fixos mais elevados no setor agrícola. Um ponto positivo se dá ao fato, de que se otimizamos o consumo de água, há uma redução proporcional no consumo de energia, ou seja, se a água é bem manejada, temos uma redução no consumo de energia elétrica (SENAR, 2019).

Todos os sistemas de irrigação, com determinação de datas e horários pré-definidos pelo usuário, se tornam um sistema mais eficiente, se usado de maneira correta. A atual agricultura irrigada no Brasil tem base em dois extremos, a primeira é baseada em sistemas

modernos onde se faz um estudo e programação dos horários e tempo de irrigação, além de sistemas automatizados, que aumentam a eficiência e reduzem a mão de obra e tempo gasto no manejo. O segundo extremo se baseia em uma abordagem empírica, ou muitas vezes refém do horário disponível para realizar a ativação das bombas e registros espalhados na lavoura, reduzindo a rentabilidade do sistema e agredindo o meio ambiente (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

A irregularidade ou falta de precisão na frequência da irrigação pode acarretar sérios problemas para a lavoura em um sistema de irrigação. Isso acontece porque a quantidade de água necessária para a irrigação desempenha um papel crucial na qualidade e no custo do produto final. Quando há um excesso de água fornecida às plantas, isso resulta em consequências graves, como o aumento do lençol freático, a salinização do solo e a lavagem dos nutrientes, o que, por sua vez, prejudica tanto a lavoura quanto o meio ambiente. Por outro lado, se a quantidade de água disponibilizada for inferior à necessária, a consequência será uma diminuição no rendimento da lavoura ou uma área irrigada menor do que o seu verdadeiro potencial (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

Como avanço das tecnologias de automação e monitoramento houve grandes avanços no setor da lavoura irrigada, entretanto, pequenos e médios agricultores têm dificuldade de acesso às tecnologias, seja pelos preços elevados, ou falta de conhecimento (LOURO, 2022).

O projeto final será dividido em três partes, sendo elas: projeto da estação de controle, etapa que será responsável pelo envio de sinais e comunicação entre o *hardware* e atuadores. O sistema supervisor é a etapa responsável pela Interface Homem-Máquina (IHM). Na etapa final será projetado o *hardware* embarcado para processamento das informações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

A objetivo deste projeto é desenvolver um sistema automatizado de controle de irrigação que contemple melhorias no controle do cultivo e produção. Oferecendo benefícios como: baixo custo, monitoramento à distância, informações em tempo real do sistema e interface interativa.

1.1.2 Objetivos Específicos

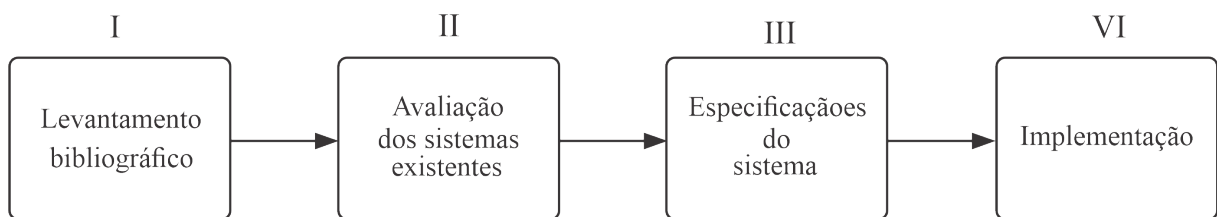
1. Simulação e projeto dos circuitos de comunicação e condicionamento de sinais;

2. Desenvolvimento do sistema de comunicação no aplicativo IoT Remote;
3. Projeto de interface do sistema supervisor;
4. Desenvolvimento do sistema embarcado;
5. Testes de comissionamento em bancada para validação da plataforma de monitoramento.

1.2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste trabalho será desenvolvido um sistema para automação de pequenas lavouras, o qual contemplará as seguintes etapas metodológicas descritas na Figura 1. Nesse contexto, serão abordados de maneira cronológica os seguintes aspectos:

Figura 1 – Diagrama geral de desenvolvimento da proposta



Fonte: Autor

- I. Nesta etapa de desenvolvimento do trabalho, deve-se realizar o levantamento dos trabalhos já realizados para contextualização do trabalho.
- II. Nesta parte do trabalho é realizado a listagem dos sistemas já existentes no mercado.
- III. Será feito o levantamento e especificações do projeto a ser implementado. Ou seja, características, lista de equipamentos e dispositivos a serem utilizados.
- IV. Por fim, nesta fase, apresenta-se o sistema implementado e testes.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Capítulo 2 - É apresentado a fundamentação teórica do trabalho. São abordados os fundamentos para aplicação nos sistemas de automação das lavouras.

Capítulo 3 - Realiza-se toda fundamentação teórica do sistema para desenvolvimento do sistema.

Capítulo 4 - Descreve-se neste capítulo os requisitos do sistema proposto, montagem experimental, *hardware* e *software* utilizados, além da implementação do sistema de controle.

Capítulo 5 - Expõe a o ambiente de simulação e os resultados obtidos na aplicação prática.

Capítulo 6 - Apresenta a conclusão do trabalho.

REVISÃO DA LITERATURA

O Quadro 1 abaixo apresenta as principais referências bibliográficas utilizadas como base para o desenvolvimento deste trabalho.

Quadro 1 – Principais referências bibliográficas consultadas

Autor	Tipo	Objetivo	Resultados
(ROSTON, 2021)	TCC	O objetivo deste trabalho é criar um sistema de irrigação automatizado, eficiente e acessível, com funcionalidades semelhantes aos controladores comerciais, mas sendo uma solução de código aberto “faça-você-mesmo”. O foco é oferecer um controlador de irrigação programável de preço competitivo.	O trabalho apresenta resultados do projeto, incluindo análise de custos e comparação de preços com produtos similares. Durante a prototipagem, houve modificações, mas o controlador ficou similar em tamanho e interface aos concorrentes. Concluiu-se que o controlador oferece bom custo-benefício, especialmente ao adquirir componentes em sites chineses.

Continua na próxima página

(PEDREIRA <i>et al.</i> , 2022)	Artigo	O trabalho propõe o desenvolvimento de um algoritmo baseado em rede neural que permita a implementação de um sistema de irrigação automatizado e inteligente. Técnicas de <i>machine learning</i> foram empregadas com o objetivo obter-se a predição do comportamento esperado para o cultivo de uma horta.	Não foi possível assegurar a viabilidade da implementação de uma <i>Multilayer perceptron</i> (MLP) com estes parâmetros utilizados, uma vez que, não houve tempo suficiente para utilizar a rede neural desenvolvida na prática e escrutar sua eficácia. Porém o sistema de irrigação foi funcional, e para trabalhos futuros será necessário maior tempo para coleta de dados e aplicar um outro tipo de rede neural.
(MUNIR <i>et al.</i> , 2018)	Artigo	Este trabalho descreve a implementação de um sistema de gerenciamento de irrigação baseado em IoT que utiliza sensores de umidade, temperatura e um microcontrolador para otimizar o uso da água.	Aborda o sistema de irrigação inteligente proposto e seus benefícios. Ele apresenta três aplicações distintas, incluindo a gestão do consumo de água em diferentes estágios do ciclo de vida das plantas, as economias de água proporcionadas pelo sistema de irrigação inteligente em comparação com o método convencional de irrigação, além de exibir dados sensoriais com suas variações.

Continua na próxima página

<p>(FONSECA, 2022)</p>		<p>O objetivo desta monografia é demonstrar um protótipo de automação residencial baseado em IoT, usando os microcontroladores ESP32 e ESP32 CAM!. A comunicação entre os dispositivos é feita por meio dos protocolos <i>Message Queue Telemetry Transport</i> (MQTT) e <i>Hypertext Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto) (HTTP), com foco principal na utilidade do MQTT em aplicações de automação residencial.</p>	<p>O protótipo operou conforme previsto, viabilizando sua utilização em uma possível aplicação real de domótica com os mesmos princípios deste sistema. Foram alcançados os objetivos propostos de controle de climatização, sistema de vigilância por câmera, sistema de alarme, sistema de detecção de gás, monitoramento da umidade e temperatura do ambiente, sistema de irrigação automática, controle de iluminação interna, automatização de persianas e iluminação automatizada através de sensor de luminosidade.</p>
------------------------	--	---	--

Continua na próxima página

(LOURO, 2022)	Monografia	Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um sistema automatizado para irrigação de um quintal produtivo que seja capaz de realizar regas de acordo com a leitura dos sensores de solo e condições climáticas. Somado a isso, desenvolver um aplicativo de <i>smarthphone</i> para o controle remoto do mesmo, com uso da rede de <i>internet</i> .	Alguns dos resultados mencionados incluem a validação eficaz do sistema mesmo em condições de chuva intensa, a observação de limitações no sistema em relação à velocidade de resposta de irrigação e comunicação entre sensores e aplicativo, e a necessidade de aperfeiçoamento dos bicos gotejadores do sistema. Além disso, o sistema final apresentou um bom funcionamento e está sendo utilizado pelos moradores da residência onde foi implementado.
(RAGAB <i>et al.</i> , 2022)	Artigo	O objetivo do artigo é destacar o papel dos aplicativos IoT na agricultura, enfatizando o uso de sensores para coletar dados em tempo real. Juntamente com o uso do 5G, oferecendo aos agricultores mais opções para melhorar suas práticas agrícolas.	Realizou monitoramento dos parâmetros do solo usando a umidade do solo, como sensores de umidade, e depois analisando esses dados e tomar as ações de irrigação necessárias usando o ESP8266 para se comunicar com o motor e bomba, bem como abrir a válvula das válvulas solenoides. Ainda apresentando os resultados do projeto de irrigação inteligente baseado em IoT, incluindo a implementação do sistema de controle e subsistemas, bem como a criação de um aplicativo móvel e uma interface web para monitoramento remoto.

Continua na próxima página

(PEREIRA, 2023)	Monografia	Desenvolver um sistema de irrigação autossuficiente de baixo custo, com monitoramento do solo, utilizando sensores de umidade.	Os resultados apresentados no trabalho são específicos para cada experimento descrito. No primeiro experimento é apresentado um sistema fotovoltaico que apresentou uma eficiência máxima de 9,58% no solstício de inverno e valor mínimo de 8,57% no solstício de verão. Já no segundo, é apresentado o resultado da calibração do sensor de umidade do solo, que permitiu estabelecer os limites de leitura do sensor e mapear o percentual de umidade do solo para acionamento da irrigação
-----------------	------------	--	--

Fim do Quadro

Os diversos trabalhos apresentados se destacam pela implementação de sistemas automatizados de controle de irrigação, os quais incorporam melhorias significativas no controle do cultivo e na produção, fazendo uso da tecnologia *IoT*.

Ao comparar o presente trabalho com outras pesquisas que exploram abordagens semelhantes, é notável que há uma convergência em relação à ênfase na acessibilidade financeira e uso da *IoT*, tornando essa tecnologia acessível a um público mais amplo. Além do enfoque direto na melhoria do controle da irrigação na prática, priorizando o aprimoramento do sistema de irrigação. Mas há uma divergência com relação as outras investigações que podem estar mais direcionadas os meios de comunicação e protocolos.

Em resumo, em comparação a outros trabalhos, este estudo busca uma solução completa e real para aprimorar o controle de irrigação, com ênfase em custos acessíveis, monitoramento remoto e uma interface interativa eficaz. Direcionando para uma solução abrangente, prática e direta que beneficia a agricultura moderna.

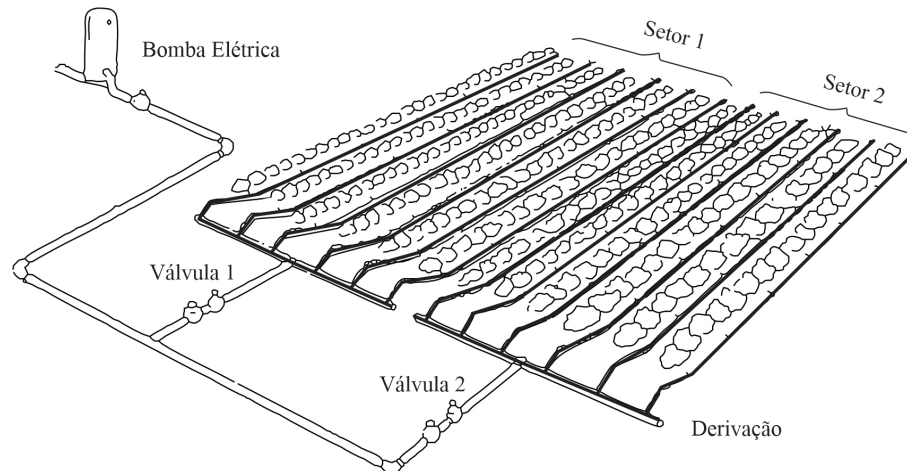
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Há uma variedade de sistemas de irrigação, as principais utilizadas serem mostradas ao decorrer do presente capítulo, e a escolha de qual utilizar depende do tipo de cultura, das condições ambientais, da oferta no mercado, e de diversos outros fatores, que para o presente trabalho não são relevantes, e então, não vão ser tratados. Geralmente, um plano é elaborado incorporando aspectos importantes como a fonte de água, pois, a água é geralmente retirada diretamente de rios, canais de irrigação ou fontes subterrâneas. É comum empregar reservatórios escavados no solo para armazenar a água, apesar dos custos iniciais de instalação, pois isso oferece autonomia e reduz os gastos com energia necessária para bombear a água até as áreas de irrigação (PAOLINELLI; NETO; MANTOVANI, 2021).

O Sistema é responsável por encaminhar a água da fonte ou do sistema de bombeamento até os setores específicos que necessitam de água. Isso envolve o uso de tubulações, derivações, registros e outras conexões para direcionar a água de forma eficaz e controlada para as áreas de cultivo, como mostrado na Figura 2. As tubulações tem a função de transportar a água e são dimensionadas de acordo com a vazão e a pressão necessárias para cada setor. As derivações permitem a divisão da água em diferentes ramificações como mostrado na Figura 2, garantindo que cada área receba a quantidade adequada de água. (LINS, 2010).

O objetivo desse sistema é distribuir a água de maneira uniforme e eficiente, garantindo que as plantas recebam a quantidade adequada de água, ao tempo que se evita o desperdício. O planejamento cuidadoso do sistema de distribuição é fundamental para

Figura 2 – Esquemático de sistema de irrigação.

Fonte: Autor

o sucesso da irrigação, assegurando que a água seja direcionada de forma correta e econômica para as áreas a serem irrigadas. O sistema emissor é parte responsável por entregar a água ao solo de forma controlada e eficaz. Os emissores consistem em dispositivos ou componentes que liberam a água diretamente ou indiretamente ao solo, permitindo a irrigação das plantas. Existem diversos tipos de emissores utilizados em sistemas de irrigação, e a escolha depende do tipo de cultura, das características do solo e das necessidades hídricas específicas. Alguns dos emissores mais comuns incluem aspersores, microaspersores, gotejadores e mangueiras porosas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

3.2 IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO

A irrigação permite que os agricultores forneçam água às plantas de forma controlada, independentemente das condições climáticas e da disponibilidade de chuva. Isso é especialmente importante em regiões sujeitas a secas ou variações climáticas imprevisíveis. O fornecimento constante de água mantém as plantas saudáveis e em crescimento, o que leva a uma produção mais previsível e consistente. Além do mais, a irrigação pode estender a estação de crescimento das culturas. Isso significa que as plantas podem ser cultivadas durante períodos mais longos ou fora de suas estações de crescimento naturais. Como resultado, os produtores podem colher múltiplas safras em um ano, em vez de apenas uma, aumentando a capacidade produtiva (BUENO *et al.*, 2020).

Bueno *et al.* (2020) seguem esclarecendo como o estresse hídrico que ocorre quando as plantas não recebem água suficiente são evitados, pois, o estresse hídrico pode prejudicar o crescimento, diminuir o rendimento e tornar as plantas mais suscetíveis a doenças

e pragas. Ao fornecer água de forma consistente, a irrigação minimiza o risco de estresse hídrico. Culturas sensíveis à água, como frutas e hortaliças, frequentemente dependem da irrigação para alcançar altos rendimentos.

O uso excessivo e inadequado dos recursos naturais como água e solo de qualidade podem levar à escassez dos mesmos. Uma das estratégias usadas para reduzir desperdícios é o uso do sistema de irrigação correto, pois, como exemplo, os sistemas de irrigação por gotejamento e aspersão são mais eficientes no uso da água do que métodos convencionais, como a irrigação por inundação. Os primeiros entregam água diretamente às raízes das plantas, minimizando o desperdício. Aliado ao uso de sensores e tecnologias de monitoramento, demandando conhecimento mínimo dos agricultores sobre as necessidades hídricas das plantas. Isso permite a irrigação com base na demanda real, em vez de um cronograma predefinido, economizando água. A programação adequada dos sistemas de irrigação, juntamente com a automação, pode garantir que a água seja aplicada nos momentos ideais do dia, quando a taxa de evaporação é menor. Isso ajuda a minimizar as perdas de água devido à evaporação (CARVALHO *et al.*, 2020).

3.3 TIPOS DE IRRIGAÇÃO

Existem vários tipos de sistemas de irrigação, cada um com suas características e aplicabilidades. Nesta seção estão alguns dos sistemas mais comuns.

3.3.1 Irrigação por Aspersão

A irrigação por aspersão é um dos métodos mais comuns e eficazes de fornecer água às culturas agrícolas. Nesse sistema, a água é pulverizada no ar como uma chuva fina e distribuída sobre a área a ser irrigada Figura 3. Evitando pontos secos ou excessivamente encharcados no campo. Os sistemas de aspersão podem ser ajustados para fornecer diferentes quantidades de água, dependendo das necessidades da cultura, do estágio de crescimento e das condições climáticas. Isso permite uma adaptação precisa às demandas das plantas, pois, a irrigação por aspersão pode ser usada para reduzir a temperatura no campo, fornecendo resfriamento evaporativo. Isso é benéfico, principalmente em regiões com climas quentes. Já para regiões mais frias a irrigação por aspersão pode ser utilizada para proteger as plantas por meio da formação de uma camada de gelo, que atua como isolante contra temperaturas muito baixas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

No entanto, é importante mencionar que a irrigação por aspersão também apresenta desafios, como a necessidade de energia para bombear a água e a manutenção dos sistemas de aspersão para garantir seu funcionamento eficiente. Além disso, em compa-

Figura 3 – Irrigação por Aspersão.

Fonte: (AGRÔNIMICAS, 2024)

ração com a irrigação por gotejamento, a aspersão pode resultar em algumas perdas de água devido à evaporação e ao vento, especialmente em climas ventosos (SENAR, 2019).

3.3.2 Irrigação por Gotejamento

A irrigação por gotejamento é um sistema altamente eficiente e preciso que fornece água diretamente às raízes das plantas, gota a gota, por meio de uma rede de tubos e emissores. A irrigação por gotejamento é um dos métodos mais competentes no uso da água, uma vez que fornece água contualmenta a terra, reduzindo o desperdício por evaporação e escoamento. Isso resulta em uma utilização de água mais precisa e uma conservação significativa dos recursos hídricos. Em comparação com sistemas de irrigação por aspersão, a irrigação por gotejamento geralmente requer menos energia para a distribuição de água, pois não é necessário bombear grandes volumes de água. O sistema fornece uma distribuição altamente uniforme da água ao longo de toda a área de cultivo, garantindo que cada planta receba a quantidade necessária de umidade. Como a água é entregue diretamente às raízes, a irrigação por gotejamento ajuda a evitar a lixiviação¹ de fertilizantes, garantindo que eles sejam absorvidos pelas plantas. Ao manter a folhagem das plantas seca, a irrigação por gotejamento ajuda a prevenir a propagação de doenças e o crescimento de erva daninha. Além de ser um sistema amplamente utilizado em culturas de alto valor, como hortaliças, frutas, videiras e plantas ornamentais, onde a precisão e a eficiência na aplicação de água são críticas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI,

¹lixiviação: Processo de retirada de nutrientes do solo, especialmente pela água.

2019), um exemplo da irrigação por gotejamento é ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Irrigação por Gotejamento.



Fonte: Moraes (2019)

Apesar de todas as vantagens, a irrigação por gotejamento também apresenta alguns dilemas, como a necessidade de manutenção regular para evitar obstruções nos emissores, e o custo inicial de instalação, que pode ser mais elevado do que sistemas de irrigação por aspersão ou inundação.

3.3.3 Irrigação Superficial

A irrigação superficial é um método tradicional de fornecer água às culturas agrícolas, onde a água é aplicada diretamente à superfície do solo e permitida a se mover gravitacionalmente por entre o campo, como mostrado na Figura 5. Este método envolve o alagamento temporário ou a aplicação de água por sulcos ou valas entre as fileiras de culturas para atingir as plantas. A irrigação superficial é um dos métodos mais simples e de baixo custo de irrigação, envolvendo sistemas de valas, sulcos ou inundação. Isso a torna acessível para agricultores com recursos financeiros limitados. É usualmente aplicada em culturas de campo aberto, como arroz, milho, trigo e algodão, onde as áreas de cultivo são extensas. Para ser eficaz, a irrigação superficial depende de uma topografia plana e solos com boa capacidade de infiltração, de modo que a água se espalhe uniformemente pelo terreno. A irrigação superficial geralmente resulta em algum desperdício de água devido à evaporação e ao escoamento superficial. Em regiões com climas quentes e ventosos, isso pode ser um problema. O controle preciso da quantidade de água fornecida às plantas é mais difícil na irrigação superficial, em comparação com métodos como a irrigação por gotejamento ou aspersão (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

Figura 5 – Irrigação Superficial.

Fonte: (AGRÔNIMICAS, 2024)

3.4 ESCOLHA DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Optar pelo método de irrigação mais adequado, levando em consideração especificidades do solo e o tipo de cultura, é decisivo para assegurar a utilização adequada da água e promover o desenvolvimento saudável das plantas.

3.4.1 Tipo de Solo e Cultura

De acordo com Paolinelli, Neto e Mantovani (2021), o tipo de solo usado é um fator importante para escolha do tipo de irrigação, pois solos com alta capacidade de infiltração, como solo arenoso, pode ser mais adequados para sistemas de irrigação por aspersão ou gotejamento, pois a água é absorvida rapidamente. Solos com baixa capacidade de infiltração, como solos argilosos, podem se beneficiar da irrigação por gotejamento, que fornece água diretamente às raízes e evita o escoamento na superfície. Também é levado em conta a erosão, pois, solos suscetíveis à erosão podem se beneficiar de métodos de irrigação que evitam o contato direto da água com o solo, como a irrigação por aspersão.

Já no que diz respeito a escolha do tipo de cultura temos quatro tipos a primeira são culturas sensíveis à água, como muitas hortaliças e frutas, que podem se beneficiar da irrigação por gotejamento, que fornece água diretamente às raízes, evitando o encharcamento. A segunda são culturas extensivas de campo aberto, como milho ou trigo, que podem se adaptar à irrigação superficial, como a irrigação por inundação, especialmente se o solo tiver boa capacidade de infiltração. A terceira se refere as culturas permanentes,

como árvores frutíferas e videiras, que podem se beneficiar da irrigação por gotejamento, dado que permite um fornecimento contínuo de água às raízes durante toda a estação de crescimento. E por último as culturas que toleram contato com a água, como o arroz, que crescem em áreas inundadas e requerem irrigação por inundação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

3.4.2 Disponibilidade de Água

A escolha do tipo de irrigação de acordo com a disponibilidade de água é uma decisão crítica na agricultura. É essencial determinar a quantidade de água disponível para irrigação. Isso pode ser feito por meio de medições de vazão de fontes de água, como rios, poços ou reservatórios, juntamente com a avaliação da disponibilidade de chuvas. Cada cultura tem necessidades específicas de fornecimento de água, tanto em termos de quantidade quanto a frequência de irrigação. Se a água é escassa, é aconselhável escolher métodos de irrigação que sejam altamente eficientes no uso da água, como a irrigação por gotejamento ou a irrigação por aspersão. Esses sistemas minimizam o desperdício de água em comparação com métodos como a irrigação superficial. A adaptação do método de armazenamento da água pode variar ao longo do ano, haverá uma quantidade limitada de água em determinadas épocas, assim variações nos métodos de armazenamento e captação devem estar disponíveis para garantir um suprimento contínuo durante os períodos de escassez. Em algumas áreas, pode ser necessário focar a irrigação durante os períodos de maior necessidade com base na disponibilidade sazonal de água e de acordo com a temporada de crescimento das culturas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

3.4.3 Custo e Eficiência Energética

A escolha do tipo de irrigação com base no custo e na eficiência energética é vital para garantir que a irrigação seja economicamente viável e ecologicamente sustentável.

Assim Paolinelli, Neto e Mantovani (2021) destacam que um dos pontos fundamentais é a avaliação do orçamento disponível para o sistema de irrigação. Os custos iniciais incluem a instalação, equipamentos e infraestrutura, além dos custos operacionais e de manutenção ao longo do tempo. Para otimizar a eficiência energética, deve-se implementar sistemas de irrigação que demandem menos energia para operação. A irrigação por gotejamento e a irrigação por aspersão tendem a ser mais eficientes em termos energéticos do que a irrigação superficial. A disponibilidade e o custo da fonte de energia necessária para operar o sistema de irrigação é um dos pontos mais importantes e que geram um custo elevado a longo prazo. A eletricidade e o diesel são fontes de energia comuns, mas as energias renováveis, como a energia solar e eólica, podem ser opções mais

econômicas e sustentáveis a longo prazo. Sistemas de irrigação automatizados podem ser mais eficientes em termos de energia, permitindo o controle preciso do tempo de irrigação e a otimização do uso da água. O estudo do tipo de bomba de água mais adequado para cada tipo de irrigação é fundamental pois, em sistemas que exigem bombeamento de água, como a irrigação por aspersão, escolha bombas adequadas e eficientes e seu dimensionamento correto é um ponto determinante para diminuir o consumo de energia. Além disso, as bombas com classificação energética e fator de potência mais altos podem economizar energia elétrica de forma significativa (MARTINS *et al.*, 2022).

3.4.4 Clima Local e Variações Sazonais

Cada local tem um clima específico. Em áreas com alta precipitação no inverno e estiagem no verão, sistemas de armazenamento de água, como reservatórios, podem ser usados para fornecer água durante os períodos secos. Pois as adaptações de cronograma de acordo com as variações sazonais pode reduzir a irrigação durante períodos chuvosos e aumentar durante períodos secos. Assim a utilização de estações meteorológicas e sensores de umidade do solo para monitorar as condições climáticas em tempo real, permite ajustar o sistema de irrigação com base nas condições atuais, automatizando o sistema de irrigação para facilitar o ajuste com base nas condições climáticas sazonais. Processo que pode ser realizado por meio de controladores e sensores (COSMO; GALERIANI, 2022).

Bernardo, Soares e Mantovani (2019) falam sobre o clima e as mudanças sazonais que afetarão a programação e a quantidade de água necessária. A escolha do tipo de irrigação com base no clima local e variações sazonais é essencial para atender às necessidades hídricas das culturas de forma eficiente e sustentável. De início, deve-se compreender o clima local, incluindo a quantidade e distribuição anual de chuvas, a temperatura e a umidade relativa. A quantidade de água, sazonalidade e condições climáticas que as culturas necessitam ao longo do ano deve ser considerada, além das variações na demanda de água durante as diferentes fases de crescimento das culturas.

3.5 *INTERNET DAS COISAS*

A *Internet das Coisas (IoT)* é um conceito que se refere a uma rede de objetos físicos, chamados de "coisas", equipados com sensores, *software* e capacidade de conexão, permitindo que eles coletem e enviem dados. Esses objetos podem incluir desde dispositivos cotidianos, como *smartphones* e aparelhos inteligentes, até máquinas e infraestruturas industriais. O principal objetivo da *IoT* é possibilitar a comunicação e interação entre esses objetos, formando uma rede contínua e interconectada. Sendo uma rede de dispositivos conectados com capacidade de coletar e analisar dados, fornecendo informações

valiosas e possibilitando a automação e a tomada de decisões inteligentes. A *IoT* tem o potencial de transformar o setor agrícola, proporcionando benefícios como maior eficiência, redução de custos, aumento da produtividade e aprimoramento da tomada de decisões. Contudo, a ampla adoção da *IoT* enfrenta desafios significativos, tais como preocupações relacionadas à segurança e privacidade, questões de interoperabilidade e a necessidade de uma infraestrutura robusta (SHENG *et al.*, 2015).

3.6 SISTEMAS DE CONTROLE DE IRRIGAÇÃO

Segundo Medeiros (2018) sistemas de controle de irrigação tem papel na gestão eficiente da irrigação agrícola. Permitem aos agricultores automatizar e otimizar o processo de irrigação, garantindo que as culturas recebam a quantidade certa de água no momento adequado, de acordo com uma programação ou através de sistemas automáticos que usam dados sensores instalados em campo. Atualmente, tem-se notado um significativo aumento no emprego de tecnologias no setor produtivo. A principal meta é aprimorar não apenas a força de trabalho, mas também aspectos ligados à novas tecnologias vinculadas a produção agrícola.

3.6.1 Controladores de Irrigação Automáticos

De acordo com Furtado (2021), automação é um sistema que emprega processos automáticos para supervisionar os mecanismos necessários para seu próprio desempenho. Em outras palavras, trata-se de um sistema que utiliza técnicas computadorizadas e/ou mecânicas com a finalidade de melhorar a eficiência no uso do tempo e reduzir despesas. Os controladores automáticos permitem aos agricultores programar quando e por quanto tempo a irrigação deve ocorrer. Eles possuem interfaces de usuário que permitem definir horários de irrigação, duração das sessões de irrigação e frequência com base nas necessidades das culturas e nas condições climáticas locais. Os controladores automáticos são geralmente caracterizados por alguns atributos como: programação flexível, estações ou zonas, sensoriamento e conectividade *Wireless Fidelity (Rede sem fio) (Wi-Fi)*. Com base em *sites* de vendas *online* popularmente conhecidos, a Tabela 2 apresenta alguns dos controladores mais utilizados no mercado e suas características.

3.6.1.1 Programação flexível

De acordo com Almeida *et al.* (2020), a programação permite o usuário pré-programar horários e datas de irrigação conforme a cultura ou estação do ano. Diversas combinações de lâminas de água e frequências de irrigação tiveram um impacto significativo na

Tabela 2 – Principais controladores de irrigação presentes no mercado

Marca	Estações	Modular	Sensores	Wi-Fi	Preço
Rain Byrd	4	Não	Acessório	Acessório	R\$ 620,00
Galcon	4	Sim	Não	Acessório	R\$ 400,00
Hunter	4	Sim	Sim	Não	R\$ 960,00
Orbit	12	Não	Não	Não	R\$ 821,50
K Rian	4	Não	Acessório	Não	R\$ 474,00
Galcon	6	Sim	Não	Não	R\$ 899,90

Fonte: Autor

produção. Variações da quantidade de água utilizada quanto o aumento na frequência de irrigação resultaram em um aumento na produtividade da cultura. A programação com base no tempo envolve a definição de horários específicos para a irrigação. Como exemplo, pode-se programar o sistema para irrigar todas as manhãs às 6:00h da manhã. Essa abordagem é mais apropriada para sistemas que não contam com sensores, dando mais autonomia e se adaptando ao gosto do usuário. Outra questão importante com relação a programação manual se concentra em evitar a ativação da irrigação durante os horários de pico, alto valor na conta de energia, ou seja, se possível, dar prioridade na ativação das bombas elétricas em horários em que a energia elétrica seja mais barata. (BONFIM; TURIN; BONFIM, 2023).

3.6.1.2 Sensores

Alguns modelos de controladores de irrigação têm sensores de chuva que suspendem automaticamente o fornecimento de água as lavouras quando há precipitação de chuva ou detecção de umidade no solo. Muitos controladores automáticos podem ser integrados a sensores de umidade do solo e sensores de fluxo de água para tornar a irrigação mais precisa. Eles usam informações desses sensores para ajustar automaticamente o programa de irrigação com base nas condições em tempo real (CAVALCANTI; CORREIA; BRITO, 2020).

Os sensores coletam dados em tempo real sobre condições do solo, clima e culturas, permitindo que os agricultores tomem decisões informadas e ajustem o fornecimento de água de acordo com as necessidades em tempo real. Um dos sensores mais usados é o de umidade no solo, dispositivo que monitoram a umidade do solo em diferentes locais e profundidades. Com base nas leituras, os agricultores podem determinar quando o solo está seco o suficiente para justificar a irrigação. Eles ajudam a evitar o excesso de água e a escassez, garantindo que as culturas recebam a quantidade certa de água (BONFIM; TURIN; BONFIM, 2023).

Existem mais dois sensores bem comuns é que são importantes para coleta de dados sobre o estado das culturas. O primeiro é o sensor de umidade do ar que determina a taxa de evaporação da água do solo. A quantidade de água que uma planta perde depende da umidade do ar. Quando o ar está seco, as plantas transpiram mais para evitar o estresse hídrico. Monitorando a umidade do ar, os agricultores podem ajustar a irrigação para atender às necessidades das plantas e evitar a desidratação, aumentando a frequência ou o tempo de irrigação (MESA *et al.*, 2018).

Segundo Reis (2015) o sensor é o de temperatura que fornece dados pontuais sobre a temperatura do ar. Essas informações ajudam os agricultores a entender as variações diárias e sazonais de temperatura, evitando picos de temperatura, por meio da irrigação. Assim com base nas leituras dos sensores de temperatura, os controladores de irrigação podem ajustar os programas de irrigação, logo, em dias mais quentes, quando a temperatura é alta, as plantas podem utilizar da água para reduzir a temperatura local.

3.6.2 Sistemas de Monitoramento e Controle Remoto

Atualmente sistemas mais avançados possuem controladores permitem o monitoramento e o controle remotamente via dispositivos móveis conectados à *internet*, permitindo aos usuários controlar e supervisionar suas operações à distância. Esses sistemas utilizam tecnologia de comunicação e sensores para coletar dados em tempo real sobre o funcionamento dos sistemas de irrigação e as condições do campo. Para um bom funcionamento do sistema de monitoramento deve-se ter em mente uso de alguns componentes essenciais como os sensores já mencionados anteriormente, pois aqui o papel do sistema de monitoramento é mostrar para o usuário os dados coletados pelos sensores em tempo real (GHANNOUM, 2019). Outro componente importante é a plataforma de monitoramento que é um *software* que recebe, exibe e armazena os dados coletados, permitindo aos agricultores acessar informações a partir de seus computadores ou dispositivos móveis. E por último e não menos importante temos os atuadores, que permitem ao agricultor realizar ações remotamente, como ativar ou desativar bombas de irrigação ou abrir e fechar válvulas (LACERDA, 2022).

3.6.3 Automatização de Bombas e Válvulas

A automação de bombas e válvulas permite a ativação e desativação automática ou remota do fornecimento de água, além de ajustar o fluxo e a pressão da água com base nas necessidades das culturas ou ao gosto do usuário. As válvulas são usadas para direcionar o fluxo de água para diferentes partes do sistema de irrigação, como zonas ou setores. Assim as válvulas fornecem autonomia para o sistema abrir e fechar válvulas

automaticamente, direcionando a água para áreas específicas do campo. Com automação da ativação de bombas e válvulas há uma redução na possibilidade de erros humanos assim evitando desgaste ou perdas no sistema (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2019).

Atualmente as válvulas mais comuns no sistema de irrigação são as válvulas solenoides de 24V CA, que funcionam com base em um princípio simples. Quando uma corrente elétrica é aplicada ao solenoide, um núcleo magnético é atraído, movendo um êmbolo ou diafragma que controla o fluxo de água. Ao desligar a corrente, a força magnética diminui, permitindo que a válvula se feche. Isso torna a operação das válvulas solenoides rápidas e precisas (JEONG; YANG, 2013).

O modo mais simples e seguro de acionamento de bombas elétricas em sistemas de irrigação são os contadores, dispositivo elétrico usado para controlar o acionamento de motores elétricos e outros equipamentos em sistemas de irrigação, proporcionando uma maneira segura e eficaz de gerenciar a operação das bombas. Os contatos funcionam como uma chave ou interruptor elétrico. Quando os contatos se fecham, eles permitem a passagem da corrente elétrica do circuito, energizando a bomba. Quando a tensão é retirada do contator, o campo magnético é desfeito, e os contatos se abrem, interrompendo a corrente elétrica e desligando a bomba, e conseqüentemente o fornecimento de água (CUNHA, 2009).

Sistemas com contadores se tornam mais seguros e confiáveis pois permitem que a operação da bomba seja controlada a partir de um local remoto, minimizando os riscos para os operadores. Além disso, os contadores frequentemente aliados de relés próprios para acionamentos de bombas elétricas possuem proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos, o que ajuda a proteger a bomba e outros equipamentos contra danos (FILHO, 2017).

3.7 PROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS

Um sistema embarcado refere-se a qualquer dispositivo que contenha um computador programável, mas que não seja concebido para ser, em si mesmo, um computador de propósito geral. Em outras palavras, um sistema embarcado não é destinado a realizar uma ampla gama de tarefas como um *Personal Computer* (Computador pessoal) (PC). Embora os PCs sejam comumente empregados na construção de sistemas embarcados, estes são projetados para desempenhar funções específicas e não para atender a uma variedade ilimitada de finalidades como os PCs (WOLF, 2005).

Wolf (2005) ainda refere-se a um microprocessador como *Central Processing Unit* (Unidade Central de Processamento (CPU) contida em um único *chip*. O desenvolvimento

da integração em larga escala viabilizou a inclusão de uma CPU completa em um único *chip* a partir da década de 1970, mesmo que essas CPUs fossem, inicialmente, bastante simples. O primeiro microprocessador, o *Intel 4004*, foi concebido para uma aplicação embarcada, mais precisamente, uma calculadora.

Uma grande parte do mercado global de microprocessadores é ocupada por microcontroladores, que representam o núcleo programável de sistemas embarcados. Os Engenheiros em diferentes áreas precisam ser capazes de identificar oportunidades para a utilização de microcontroladores desenvolvendo uma plataforma de *hardware* adequada para uso. Além dos microcontroladores, tais sistemas podem incluir Circuitos Integrados de Aplicação Específica (ASIC) e/ou matrizes de portas programáveis em campo (FPGA), bem como outras unidades computacionais programáveis, como Processadores Digitais de Sinais (DSP). Dado que os sistemas embarcados mantêm interações contínuas com um ambiente naturalmente analógico, é comum a necessidade de componentes que realizem conversões A/D e D/A. Uma parte substancial do desafio do projetista envolve tomar decisões sobre a arquitetura de *software* e *hardware* para o sistema (EDWARDS *et al.*, 1997).

De acordo com Valvano (2014) há uma diferença entre o que os usuários conseguem descrever sobre o sistema que desejam e o que os projetistas tem em mente, devido ao fato do consumidor de Sistema Embarcado (SE) geralmente não ser o próprio desenvolvedor do SE. Assim a compreensão do desenvolvedor de SE sobre o sistema é baseada em como imaginam as interações dos usuários com o dispositivo. Tendo expectativas irreais sobre o que pode ser feito dentro de seus orçamentos. Capturar um conjunto consistente de requisitos do sistema e, em seguida, ajustar esses requisitos em uma especificação de maneira estruturada é um dos desafios do projeto de SE. Claramente, antes de projetarmos um sistema, precisamos saber o que estamos projetando. As fases iniciais do processo de *design* capturam essas informações para serem utilizadas no levantamento dos componentes. Geralmente, a listagem dos componentes se dá em alguns requisitos obedecendo alguns requisitos como: desempenho, custo, tamanho físico e consumo de energia.

3.7.1 Microcontroladores

A unidade de processamento é indispensável para sistemas de automação, exceto em casos onde há uma lógica extremamente simples. A maioria dos sistemas embarcados utiliza microcontroladores em vez de microprocessadores. Às vezes, a distinção é tênue, mas, em geral, um microprocessador é a CPU sem quaisquer dispositivos periféricos ou de suporte adicionais. E podem ser descritos como processadores encapsulados, contendo memória, interfaces de Entrada/Saída (E/S) de dados e dispositivos periféricos, como *Analogue-to-Digital Converter* (Conversor Analógico/Digital) (ADC), temporizadores e

interfaces para comunicação serial, entre outros. Os microcontroladores são projetados para exigir um número mínimo de partes externas. Assim, é óbvio por que os microcontroladores se tornaram tão prevalentes e até mesmo dominam todo o mundo dos sistemas embarcados (MARWEDEL, 2021).

Seguindo a linha de raciocínio de Berger (2002), microcontroladores, incorporam *Random Access Memory* (Memória de acesso aleatório) (RAM), e *Read Only Memory* (Memória de leitura) (ROM), além de portas de entrada e saída em um único pacote, e são empregados em sistemas embarcados devido ao seu baixo custo, tamanho reduzido e baixos requisitos de energia. Microcontroladores como a família da *Texas Instruments* estão disponíveis com um grande número e ampla variedade de dispositivos, como portas paralelas, portas seriais, temporizadores, *Digital-to-Analog Converter* (Conversor Digital/Analógico) (DAC) e conversores ADC.

3.7.2 ESP32

Ao incorporar um processador ao sistema, é ainda necessário determinar a plataforma a ser adotada. A escolha do plataforma de desenvolvimento deve derivar das exigências do projeto e necessidades do sistema, considerando características como custo, capacidade de processamento, memória, que são os aspectos principais.

O ESP32 é um microcontrolador desenvolvido pela (ESPRESSIF SYSTEMS CO., 2022). Ele se apresenta como uma solução independente de rede *Wi-Fi*, além de ter a compatibilidade com aplicativos e programas desenvolvidos para plataforma *Arduino*, executando aplicativos autônomos. A produção em larga escala do ESP32 teve início apenas no final de 2016, indicando que, no contexto geral, este é um lançamento relativamente novo quando comparados com *Arduino* e *Raspberry Pi* que tem a mesma finalidade quando falamos de sistemas microcontrolados (KOLBAN, 2017).

O ESP32 possibilita conexão com *internet*, portanto, eventualmente será usando protocolo *Wi-Fi*, mas como em qualquer dispositivo que se conecta a redes sem fio, é necessário realizar alguns passos. O dispositivo não tem conhecimento sobre qual rede deve se conectar, qual senha utilizar e outros parâmetros necessários. Se desejamos que o dispositivo seja um ponto de acesso ou se desejamos carregar nossas próprias aplicações (ESPRESSIF SYSTEMS CO., 2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

O capítulo apresenta uma descrição dos materiais necessários na elaboração de um protótipo, possibilitando a aplicação da automação no sistema, assim como a interligação com os diferentes componentes, considerando suas diferentes características, além das ferramentas computacionais usadas na busca dos resultados obtidos.

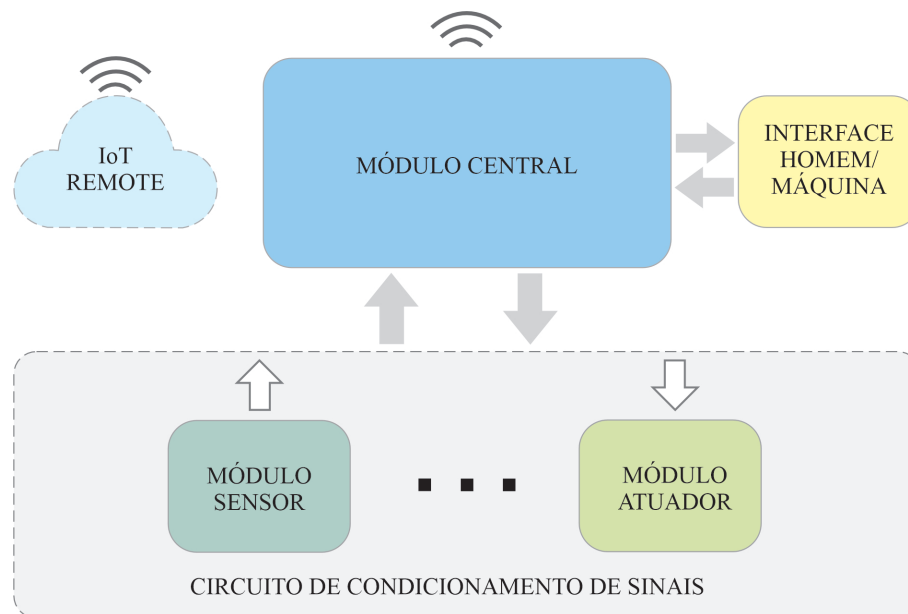
4.1 MONTAGEM EXPERIMENTAL

A Figura 6 apresenta a configuração geral do sistema a ser implementado. Narra um design direcionado ao módulo ESP32, que desempenha o papel central na lógica do sistema, unificando e coordenando os dispositivos periféricos. Este módulo gerencia as interações entre os componentes, onde os módulos de acionamento e sensoriamento estão integrados. Além disso, destaca-se a presença de uma interface Homem-Máquina conectada ao módulo central. Essa interface envia sinais de comando para o sistema, e por outro lado recebe dados dos sensores, facilitando a interação e proporcionando uma comunicação bidirecional entre o usuário e o protótipo. Tal arquitetura mira a eficiência operacional garantindo uma inserção harmoniosa entre os componentes do sistema.

4.2 SENSORES

Sensores desempenham um papel fundamental na agricultura, pois, permite a obtenção de dados precisos e em tempo real sobre as condições ambientais onde está localizado as plantações. Com tais dispositivos, os agricultores podem monitorar e armazenar dados de diversos fatores, incluindo a umidade do solo, temperatura, umidade do ar,

Figura 6 – Panorama geral do protótipo



Fonte: Autor

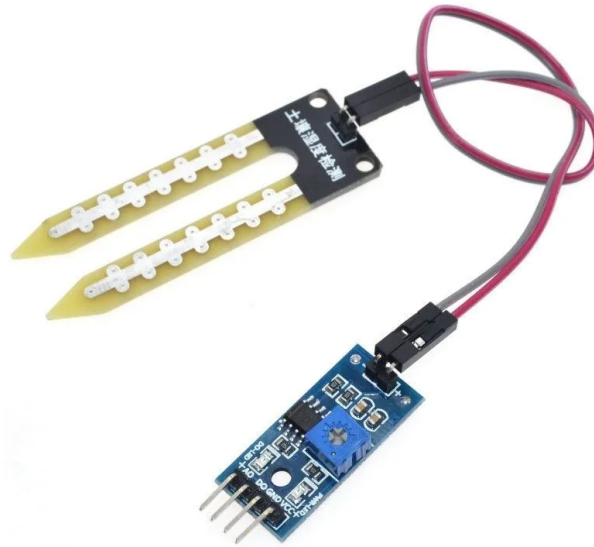
presença de pragas e doenças, entre outros elementos que impactam o crescimento e a produtividade das plantas. Essas informações possibilitam decisões informadas sobre o manejo das culturas, como a horário correto para irrigar, aplicação adequada de fertilizantes e pesticidas, o gerenciamento da irrigação e o *timing* da colheita. (BAYIH *et al.*, 2022).

4.2.1 Sensor de Umidade do Solo

O sensor DL-69 ilustrado na Figura 7 utiliza de uma técnica que estima a umidade do solo através sua constante dielétrica. Obtendo a capacitância entre os dois eletrodos, submetidos a um sinal de frequência conhecida. Desse modo é realizada a medida da impedância do circuito. Arelado ao dispositivo há variações da constante dielétrica, causada pela mudança da propriedade da água como salinidade, impurezas e temperatura. Apesar da constante dielétrica ser proporcional ao conteúdo de água, o sinal não é linear. O método é influenciado pelo tipo e temperatura do solo, exigindo calibração cuidadosa na instalação e ao longo do tempo de uso devido à estabilidade questionável a longo prazo (ROQUE *et al.*, 2008).

Na tabela 3 estão descritas as especificações do sensor de umidade do solo usado no sistema.

O sinal recebido é processado pelo circuito LM393 e enviado para o ESP32 através das portas analógicas, convertendo o sinal analógico para digital em uma escala de 0 a

Figura 7 – Sensor DL-69

Fonte: (ELETRÔNICA, 2023)

Tabela 3 – Especificações do sensor de umidade do solo

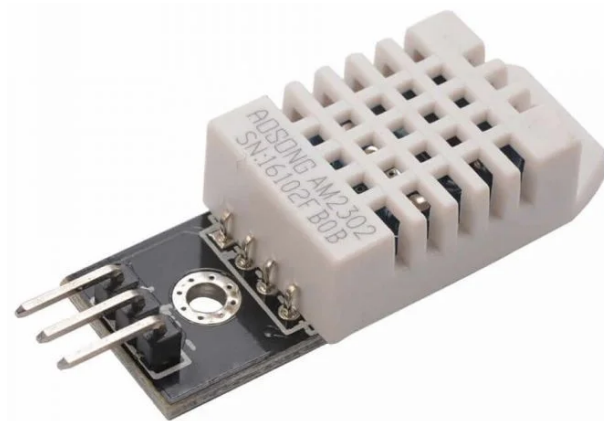
Características	Valor
Tensão de Alimentação	3.3V ou 5V
Corrente	Até 20mA
Tipo de Saida	Analógica

Fonte: (ELETRÔNICA, 2023)

1023 *bits*. Na escala, 0 representa um estado extremamente úmido, enquanto 1023 indica um estado extremamente seco (FURTADO, 2021).

4.2.2 Sensor de Umidade Relativa do Ar

O DHT22 é um sensor que produz um sinal digital calibrado, utilizando modos operandi de sensoriamento e coleta de dados para garantir confiabilidade e estabilidade. Seus elementos de sensoriamento estão conectados a um encapsulamento de 8 *bits*. Cada sensor deste modelo é compensado em temperatura e calibrado em uma câmara de calibração precisa, armazenando os coeficientes de calibração em memória. Durante a detecção, o sensor recupera esses coeficientes da memória. Sua pequena dimensão, baixo consumo de energia, faz o DHT22 adequado para ambientes desafiadores, como o ambiente agrícola que está exposto a várias intempéries. Como ilustrado na Figura 8 o sensor tem encapsulamento único e quatro pinos alinhados em uma única fileira, facilitando a conexão em diferentes aplicações. A Tabela 4 mostra as especificações do DHT22 (CO., 2016).

Figura 8 – Sensor DHT11

Fonte: (ELETRÔNICA, 2023)

Tabela 4 – Especificações do sensor DHT11

Características	Valor
Tensão de Alimentação	3 - 5,5V CC
Corrente	0,5 - 2,5mA
Faixa de umidade	0 - 100%
Precisão	2 a 5%
Faixa de operação	-40 a 125°C%

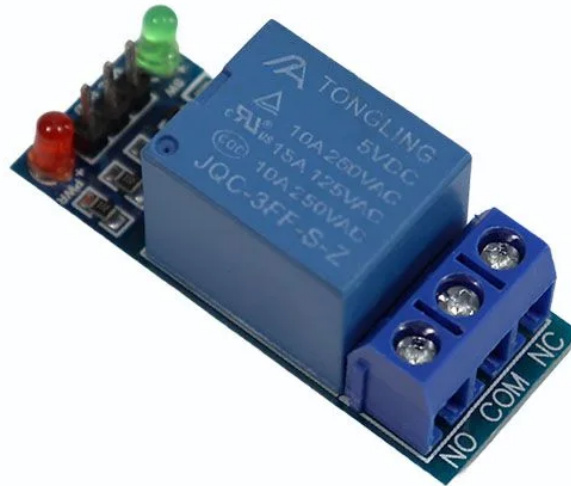
Fonte: (CO., 2016)

4.3 RELÉS

Relés são interfaces de potência, cuja finalidade é acionar dispositivos a serem alimentados por uma fonte de energia externa que geralmente tem níveis de tensão e corrente diferentes e muito acima dos valores de sinal enviados pelos microcontroladores, pois o acionamento é feito com um sinal de baixa corrente. Pode ser utilizado para controlar vários eletrodomésticos e equipamentos com corrente elevada. Possui uma interface padrão que pode ser controlada diretamente por um microcontrolador (CUNHA, 2009).

Com módulo relé é possível acionar diversas cargas com diferentes níveis de tensão que vão até 250V CA e 30V CC, com corrente máxima de 10A em ambos os casos. O tempo de resposta do dispositivo é de 5 a 10ms e sua corrente típica de operação de 15 a 20mA, sendo isolado opticamente do lado de alta tensão por requisitos de segurança, também evitando laços de terra ao ser conectado a um microcontrolador (TECHNOLOGY, 2016).

Na Figura 9 é apresentado o módulo relé de um canal.

Figura 9 – Relé de 5V

Fonte: (ELETRÔNICA, 2023)

4.4 MÓDULOS

Módulos fornecem capacidade de ajuste e especialização nas diferentes demandas do sistema. No contexto de um protótipo que incorpora sensores e atuadores, o uso de módulos é um passo indispensável no projeto. A presença de módulos de acionamento e relés permitem o controle preciso de dispositivos externos, oferecendo flexibilidade para interagir com o ambiente. Já o módulo sensor, composto por sensores de umidade e temperatura, é encarregado de fazer a obtenção de dados climáticos. Já o módulo de controle, representado pelo ESP32, atua como o centro do protótipo, coordenando a comunicação entre os diferentes módulos. A presença desse módulo centraliza o controle e a gestão do sistema, proporcionando uma integração coesa entre os diversos componentes do protótipo. Em conjunto, os módulos formam uma arquitetura ajustável (BERGER, 2002).

4.4.1 Módulo Sensor

O módulo sensor é destinado à coleta de dados climáticos. Composto por dois sensores distintos, o primeiro é especializado na medição da umidade do solo o DL-69, fornecendo informações cruciais sobre as condições do terreno. O segundo sensor o DHT11 é multifuncional, sendo capaz de medir tanto a umidade relativa do ar quanto a temperatura ambiente. Essa versatilidade torna o módulo sensor um componente valioso para monitorar as condições climáticas em um determinado ambiente. Ao integrar esses dois sensores no protótipo, cria-se uma solução simples mais eficiente para a coleta de dados

climáticos, proporcionando uma visão completa e em tempo real das condições ambientais mais importantes no ambiente agrícola que é a umidade da terra e temperatura ambiente (LINS, 2010).

4.4.2 Módulo Atuador

O Módulo atuador, faz o acionamento dos dispositivos periféricos e é composto por relés. Tem papel indispensável na ativação sequencial das válvulas hídras e bomba de água. Essa sequência de comutação é responsável por fornecer a água as tubulações e direcionar o fluxo de água de maneira organizada para os diferentes setores de irrigação (ROSTON, 2021).

Ainda segundo Roston (2021) a inclusão do módulo de acionamento viabiliza a expansão do número de áreas de irrigação somente com adição de relés no módulo de atuador, exigindo apenas uma modificação no código principal e disponibilidade de pinos no microcontrolador. Essa capacidade faz com que o sistema fique modular e se adapte a cada necessidade, proporcionando economia para os usuários que precisam de mais de áreas de irrigação, pois não é necessário adquirir outros módulos de controle.

4.5 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

A IHM é uma parte central e interativa do protótipo, responsável pelo acionamento manual de bombas e válvulas por meio de botões físicos. Essa funcionalidade proporciona aos usuários um controle direto sobre o sistema, permitindo a programação personalizada e ativação manual de dispositivos conforme necessário. Os indicadores integrados oferecem um *feedback* visual imediato sobre o estado do relé, facilitando a compreensão rápida de quais dispositivos estão ligados ou desligados. Essa clareza na sinalização contribui para uma gestão e acompanhamento do funcionamento do sistema (SHNEIDERMAN, 1997).

4.6 PROGRAMAÇÃO DO ESP32

O ESP32, basicamente representa uma plataforma eletrônica de código aberto que integra *hardware* e *software* com o objetivo de proporcionar facilidade de uso e programação aliado ao baixo custo. O processo de configuração de projetos envolve o uso do *software* de código aberto *Arduino Cloud*, utilizado para escrever códigos e enviá-los a dispositivos compatíveis além de monitorar e comandar dispositivos em campo através da conexão com a *internet*. Os dispositivos podem incluir tanto *hardware* desenvolvido pela própria *Arduino* quanto por outros desenvolvedores como ESP32 que recebe suporte na

plataforma, pois, a *Espressif Systems* facilitou a programação da ESP32 na *Arduino IDE* ao disponibilizar um pacote para o gerenciamento de placas da *Integrated development environment* (Ambiente de desenvolvimento integrado) (IDE). Isso permite a instalação de configurações específicas da placa, possibilitando também o monitoramento da comunicação serial (DIAS, 2021).

RESULTADOS

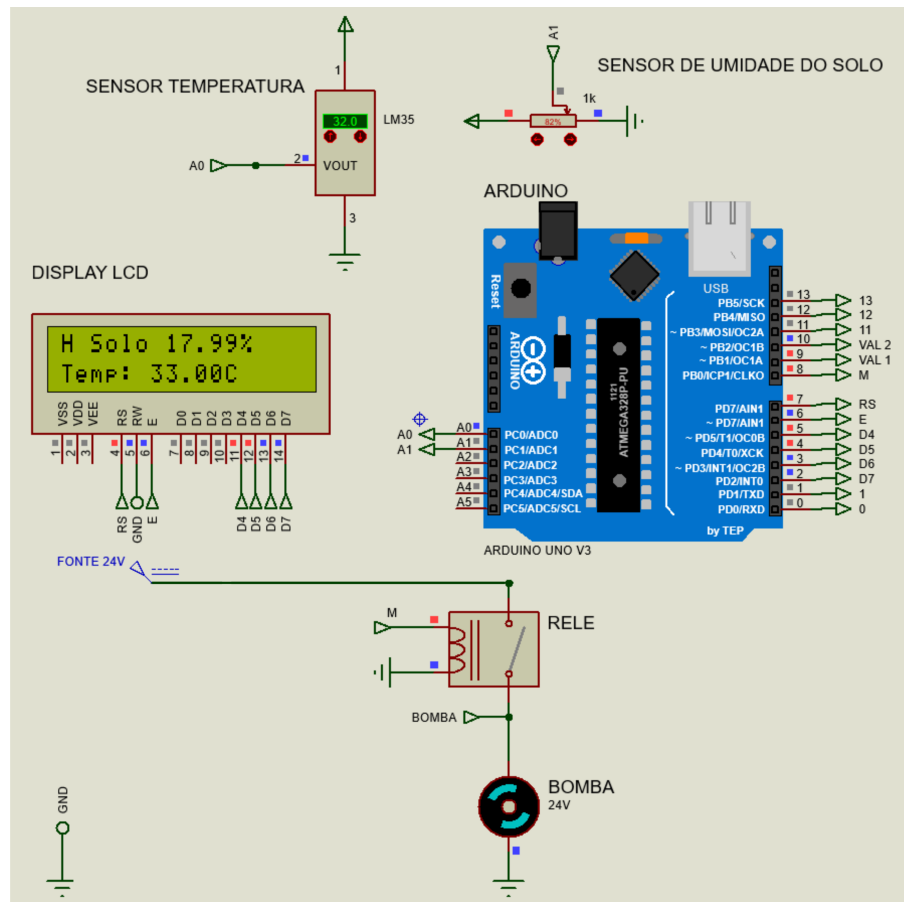
No presente capítulo será apresentado os resultados obtidos na montagem em campo. Assim verificando a eficácia do sistema. Para o protótipo proposto foi montado o circuito da Figura 10 levando em conta condições ideais e componentes disponíveis no ambiente de simulação que mais se assemelhem com os componentes desejados no projeto final.

Os primeiros ensaios foram realizados com uma montagem simples, utilizando *jumper*s e *protoboard*, para verificar a lógica de programação, conforme ilustrado na Figura 11. Já instalação final foi em campo, constatando o funcionamento em condições adversas.

5.1 SIMULAÇÃO

Os testes e a programação foram realizados em etapas, ou seja, cada sensor e atuador foram programados e testados individualmente, abordagem adotada após falhas nos testes. Isso permitiu identificar possíveis conflitos de sinais e erros de programação, tornando o processo mais lento, porém assertiva. O fato de testar um sensor e atuador por vez ajudou a identificar problemas específicos do sistema, tornando os testes finais com todos os componentes mais simples e previsíveis. De forma geral, a maior dificuldade foi a integração entre os modos "local" e "remoto", que frequentemente entravam em conflito.

Figura 10 – Circuito Elétrico



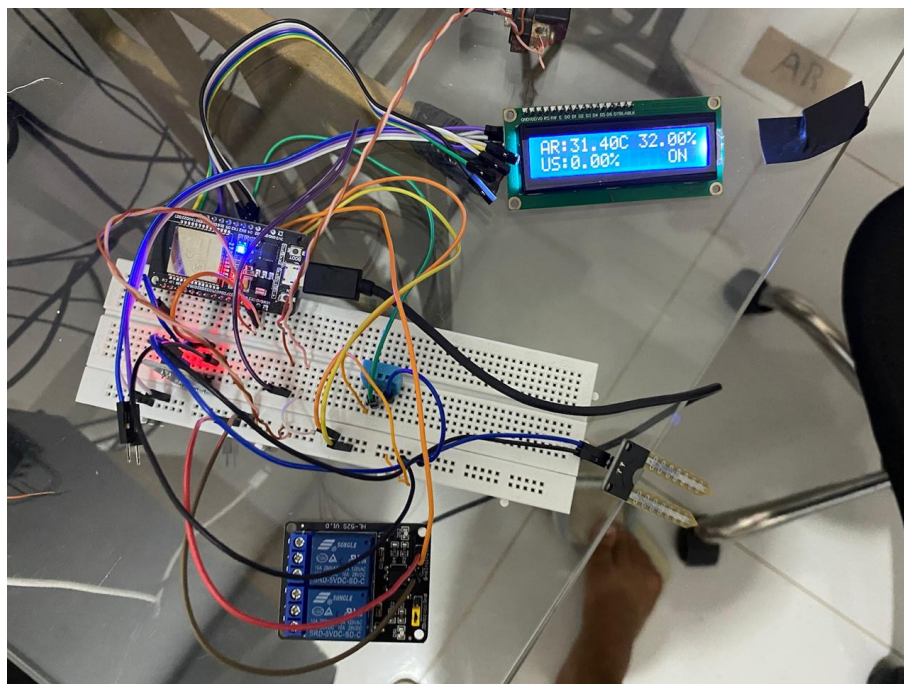
Fonte: Autor

5.2 APLICAÇÃO PRÁTICA

A segunda etapa consiste na montagem final com sistema para aplicação em campo. A ideia é manter os componentes do sistema protegidos de intempéries. Assim todo sistema foi dividido e organizado estrategicamente de acordo com sua funcionalidade, como mostrados nas Figuras 12 e 15.

A montagem da IHM, microcontrolador e relés no mesmo local se deve a praticidade e interligação dos componentes do sistema, que se mantido próximos menos suscetíveis a interferências. Ao decorrer da montagem e testes verificou-se a competência do sistema em manter a estabilidade dos controles apesar da IHM e periféricos serem molhados e expostos ao sol.

Há um segundo módulo que consiste na proteção a bomba e circuitos de ligação, que dependendo da aplicação em campo, pode ser parafusada em um suporte adequado para o ambiente, desde que a fonte de elétrica não esteja muito longe a ponto de afetar o acionamento da bomba, Figura 12.

Figura 11 – Montagem experimental

Fonte: Autor

Figura 12 – Montagem sistema de bombeamento

Fonte: Autor

Após montagem e implementação, é dado início ao teste funcional do sistema. Constatando seu correto funcionamento e eficácia no controle.

Os resultados obtidos durante o teste focam na automação do sistema, utilizando sensores de umidade do solo e umidade do ar para controlar o acionamento do relé. Além disso, há opção de controle manual via botão físico, que tem prioridade no controle do sistema, mudando automaticidade do sistema para modo "local". No modo "remoto", o sistema funciona de forma autônoma, acionando os relés com base nas leituras dos sensores e pelo controle do *switch* na nuvem.

O sistema com relé representa uma solução viável para o acionamento da válvula solenoide que requer uma fonte externa devido a corrente elevada em comparação a corrente fornecida pelo microcontrolador. O relé é ativado quando a umidade do solo cai abaixo de 40% ou a umidade do ar cai abaixo de 10%, valores que podem ser alterados no código. Para proteção do sistema de bombeamento de água, o relé sempre é ativado antes da bomba. A lógica garante que o sistema não sobrecarregue ao ligar ambos ao mesmo tempo, priorizando um acionamento seguro.

Em todos os casos de acionamento, o relé é ativado automaticamente com base nas leituras dos sensores. Porém, se o sistema estiver no modo "local", o botão físico tem total controle sobre o relé, ignorando as leituras dos sensores até que o controle manual seja desativado. Esse mecanismo permite que o usuário intervenha diretamente no sistema, evitando o acionamento automático dos sensores quando não for desejado. O sistema de comutação "Remoto" e "Local", se mostrou eficaz no que se diz respeito ao funcionamento em campo. A chave seletora foi escolhida com finalidade de evitar erros de acionamentos causados por botões *push-button*, o chamado "*Switch-bouncing*"¹

Após feita todas as ligações tanto elétricas quanto hidráulicas o sistema ficou como mostrado na Figura 13, uma visão geral de todo sistema montado em campo e mostrado na Figura 14.

Figura 13 – Sistema montado



Fonte: Autor

Figura 14 – Sistema Geral



Fonte: Autor

¹ *Switch-bouncing* : Oscilação no sinal lógico do botão *Push-button*.

5.2.1 Interfaces

No *display* LCD, são exibidos constantemente os valores de temperatura, umidade do ar, umidade do solo, e o estado atual do relé, permitindo uma visualização em tempo real das condições do ambiente e das ações do sistema como mostrado na Figura 15. A leitura dos sensores é atualizada a cada 2 segundos, fornecendo informações mais assertivas para a tomada para o usuário.

Figura 15 – Display IHM

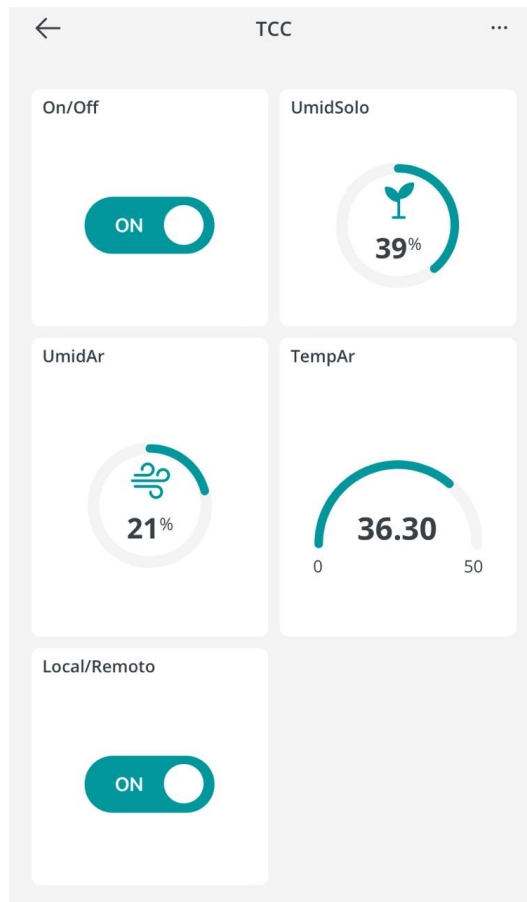


Fonte: Autor

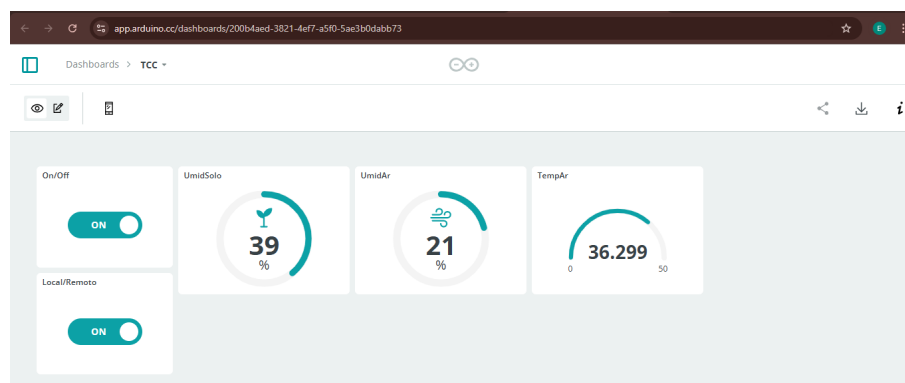
A interface *Web* Figura 17 é uma ferramenta fundamental na interação com usuário, pois permite a programação direta em linguagem C e do *layout* no navegador através de *login* e senha, além do *layout* no *smartphone* Figura 16, com aplicativo IoT Remote, mostrando uma interface de fácil compreensão e manuseio como ilustrado na Figura 17.

5.2.2 Considerações

Em termos de dificuldades, a implementação de leitura simultânea dos sensores de umidade e temperatura mostrou-se eficaz. No entanto, é importante destacar que a precisão dessas leituras pode ser afetada por interferências externas ou flutuações na conversão A/D, causadas por condições de campo, como umidade, temperatura e distância entre módulo atuador e módulo condicionador de sinais. Tais erros podem ser exstipulados através de dos erros informados pelos fabricantes dos sensores usados, como

Figura 16 – Interface *Smartphone*

Fonte: Autor

Figura 17 – Interface *Web*

Fonte: Autor

também erros causados por uma mudança de temperatura que afetaria os sinais elétricos que transmitem os sinais pelos cabos que fazem a comunicação dos sensores com o microcontrolador. Através de dados fornecidos pelos *datasheet* dos sensores obtemos um erro de 5% para leitura de umidade do ar e 2°C para temperatura. Já para um erro causado pela mudança de temperatura nos condutores que transmitem o sinal dos sensores para

o microcontrolador, faremos uma conta simples de correção de temperatura Equação 1, com valores máximo e mínimo de temperatura de 20°C e 40°C, com temperatura média de 30°C.

$$R_f = R_i(1 + \alpha(\Delta\theta)) \quad (1)$$

Dado que o material do cabo seja de cobre e a resistência do cabo usado seja 30 mΩ, obtemos um erro de 3,8% causado por uma possível variação de temperatura. O erro acumulado de todo o sistema pode ser, então, calculado de propagação de incertezas, levando em consideração todos erros aqui mencionados, por meio da Equação 2.

$$E_t = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2} \quad (2)$$

Dessa forma, o erro máximo teórico estimado é de 6,6%, o que é considerado aceitável devido à robustez dos componentes de medição, como sensores e condutores utilizados em campo. Esse valor foi calculado com base no pior cenário possível, assumindo que todos os componentes operem dentro de seus limites máximos de tolerância de erro informados.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentam-se as principais características relacionadas à IoT integrada ao setor agrícola. A agricultura tradicional, ao dedicar tempo e mão de obra ao manejo do sistema de irrigação com base em conhecimentos empíricos, enfrenta irregularidades e gastos que afetam a competitividade do produto no mercado. Então baseado em sistemas de baixo custo aqui propusemos uma solução possível.

Outras pesquisas aqui analisadas apresentam temas similares, havendo convergência na questão econômica e prática. Essa abordagem financeira e de fácil acesso auxiliou o desenvolvimento do trabalho fazendo com que o resultado final seja a junção de todos pontos positivos de outras pesquisas, se tornando acessível a um público mais amplo.

Foram identificados os principais sistemas de irrigação, influenciados por fatores como cultura e condições ambientais. Os três sistemas abordados incluem irrigação por aspersão, gotejamento e superficial. A aspersão destaca-se na redução de temperatura, enquanto o gotejamento é mais eficiente no uso da água. A irrigação superficial, mais econômica na implementação. Desse modo escolha do sistema de irrigação depende de critérios como o tipo de cultura, que está relacionado à disponibilidade de água, vinculada aos custos de implementação e manutenção do sistema.

Os sistemas de controle de irrigação já estão disponíveis no mercado para pequenos agricultores, porém são limitados e caros. O presente projeto contempla um sistema embarcado que se fez uma solução possível para a inclusão de diversos sensores e módulos de expansão, uma vez que utiliza o ESP32, uma plataforma de código aberto com componentes facilmente encontrados e de baixo custo.

Após realizar o levantamento e descrição dos materiais necessários para a elaboração do protótipo, assim como a montagem e ajustes da IHM e dos módulos de sensores e

atuadores, concluímos que, embora não tenha sido efetuado um levantamento de custos reais considerando não apenas o valor dos componentes, mas também o custo da mão de obra e o tempo dedicado ao estudo e desenvolvimento do *hardware* e *software* para o projeto final, ainda assim podemos chegar a uma conclusão preliminar. Esta indica que o sistema apresenta potencial para custos reduzidos em comparação com os sistemas disponíveis no mercado atualmente, mantendo a confiabilidade tanto na operação quanto nos sensores.

Referências Bibliográficas

- AGRÔNOMICAS, B. práticas. *Irrigação, uma prática que aumenta a produtividade no campo*. 2024. Disponível em: <<https://boaspraticasagronicas.org.br/boas-praticas-agronicas-5/irrigacao-uma-pratica-que-aumenta-a-produtividade-no-campo/>>.
- ALMEIDA, C. L. de; COSTA, J. do N.; FILHO, P. O.; LIMA, J. S.; JÚNIOR, M. V. **Produção de alface americana sob diferentes lâminas e frequências de irrigação**. Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada - INOVAGRI, Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 14, n. 1, p. 3889–3896, 2020. DOI: 10.7127/rbai.v14n1001155.
- BAYIH, A. Z.; MORALES, J.; ASSABIE, Y.; BY, R. A. de. *utilization of internet of things and wireless sensor networks for sustainable smallholder agriculture*. *Sensors*, MDPI, v. 22, n. 9, p. 3273, 2022. <<https://doi.org/10.3390/s22093273>>.
- BERGER, A. S. *Embedded system design: embedded systems foundations of cyber-physical systems, and the internet of things*. EUA: Group West, 2002.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. **Manual de irrigação 8. ed.** Imprensa Universitária, Viçosa - MG, v. 8, 2019.
- BONFIM, F. d. F.; TURIN, F. A. M.; BONFIM, R. F. **Irrigação automatizada para cultivo de morango**. Monografia (Curso técnico em automação industrial) — Escola Técnica Estadual Philadelpho Gouvêa Netto, São José do Rio Preto - SP, 2023. <<https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/14469>>.
- BUENO, M. M.; LELES, P. S. dos S.; ABREU, J. F. G.; SANTOS, J. J. S. D.; CARVALHO, D. F. de. *water requirement and growth indicators of forest tree species seedlings produced with automated irrigation management*. *Plos one*, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 15, n. 11, p. 14, 2020. DOI:<<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238677>>.
- CARVALHO, D. F. d.; MARTINS, R. d. C.; SANTOS, J. J. dos; TELES, G. C.; GENTILE, M. A.; OLIVEIRA, M. S. d. *evolution and current scenario of irrigated area in brazil: systematic data analysis*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, SciELO Brasil, Campina Grande - PB, v. 24, p. 505–511, 2020. DOI:<<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n8p505-511>>.
- CAVALCANTI, A. J. F. N.; CORREIA, F. P.; BRITO, J. A. **Validação de uma rede de sensores sem fio aplicada à fruticultura irrigada do vale do**

São Francisco. *Brazilian Applied Science Review*, v. 4, n. 5, p. 2763–2780, 2020. DOI:<<https://doi.org/10.34115/basrv4n5-002>>.

CO., L. A. E. *Datasheet DHT22*. 2016. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132459/ETC2/DHT22.html>>.

COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M. **Introdução a automação agrícola: automação nos sistemas de irrigação em tempo real**. *Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, v. 9, n. 1, p. 179–193, 2022. DOI:<<https://doi.org/10.20873/uftv9-8742>>.

CUNHA, L. **Relés e contadores**. *Revista: O setor elétrico*, v. 45, p. 54–60, 2009.

DIAS, P. V. F. **Sistema automático de irrigação e controle de temperatura para estufas**. 59 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação), Uberlândia - MG, 2021. <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/32528>>.

EDWARDS, S.; LAVAGNO, L.; LEE, E. A.; SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A. *design of embedded systems: formal models, validation, and synthesis*. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 85, n. 3, p. 366–390, 1997. DOI: 10.1109/5.558710.

ELETRÔNICA, B. da. *Componentes Eletrônicos*. 2023. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/componentes-eletronicos>>.

ESPRESSIF SYSTEMS CO., L. *Datasheet ESP32*. 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2-v1.0_datasheet_en.pdf>.

FILHO, J. M. **Instalações elétricas industriais**. [S.l.]: 9. ed. TLC, 2017.

FONSECA, G. E. **Desenvolvimento de sistema para automação residencial baseado em IOT com protocolo de mensagens MQTT**. 68 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Formiga - MG, 2022. <https://formiga.ifmg.edu.br/documents/2022/Biblioteca/TCC%20-%20Guilherme%20Eduardo%20Fonseca_Versao_Final.pdf>.

FURTADO, L. J. N. **Sistema automático de irrigação com água da chuva**. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) — Instituto Federal do Amazonas, Manaus - AM, 2021. <<http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/handle/4321/985>>.

GHANNOUM, M. B. **Viabilidade da implantação de jardins verticais: projeto, irrigação e ambiência**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2019. <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28263>>.

GUIMARÃES, V. G. **Automação e monitoramento remoto de sistemas de irrigação visando agricultura familiar**. 81 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) — Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília - DF, 2011. <<https://bdm.unb.br/handle/10483/15621>>.

- JEONG, C.; YANG, S. *a study on development of high flow solenoid valves*. *Journal of Drive and Control, The Korean Society for Fluid Power and Construction Equipment*, v. 10, n. 1, p. 7–13, 2013. DOI:<<https://doi.org/10.7839/ksfc.2013.10.1.007>>.
- KOLBAN, N. *Kolban's Book on ESP32. USA: Leanpub*, 2017.
- LACERDA, B. d. S. **Sistema de irrigação automatizado para plantações de pequeno porte**. Dissertação (B.S. thesis), 2022. <<https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/1902>>.
- LINS, U. da C. **Manual básico engenharia de irrigação, elaboração de projetos, teoria e prática**. : Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010.
- LOURO, P. V. C. **Desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado e controlado por aplicativo para um quintal produtivo**. 79 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) — Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS, Divinópolis - MG, 2022.
- MARTINS, L. C.; MARTINS, G.; CEZARINO, L. O.; SCANAVEZ, P. H. F.; MARTINS, J. C.; MATOS, L. C. de *et al.* **Análise de viabilidade econômica em sistema de pastejo irrigado rotacionado silvipastoril aplicado a produção de leite**. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, v. 13, n. 3, p. 1241–1257, 2022.
- MARWEDEL, P. *Embedded system design: embedded systems foundations of cyber-physical systems, and the internet of things*. : Springer Nature, 2021.
- MEDEIROS, P. H. S. **Sistema de irrigação automatizado para plantas caseiras**. 54 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Computação) — Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, João Molevade - MG, 2018.
- MESA, A. F. R.; SANTAMARÍA, C. G.; AGUDELO, L. B.; ACOSTA, L. M. V.; MONCADA, M. L.; NARANJO, M. S.; REYES, R. C. H.; MEDINA, T. L. Mejorar la productividad del aguacate hass mediante un prototipo de agricultura de precisión que permita el uso eficiente del recurso hídrico. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 2018. <<https://doi.org/10.26507/ponencia.673>>.
- MORAES, M. **Irrigação por aspersão: saiba sobre esse assunto!** 2019. Disponível em: <<https://agropos.com.br/?s=gotejamento>>. Acesso em: 21 nov 2023.
- MUNIR, M. S.; BAJWA, I. S.; NAEEM, M. A.; RAMZAN, B. **Design and implementation of an IoT system for smart energy consumption and smart irrigation in tunnel farming**. *Energies*, MDPI, v. 11, n. 12, p. 3427, 2018. DOI:<<https://doi.org/10.3390/en11123427>>.
- PAOLINELLI, A.; NETO, D. D.; MANTOVANI, E. C. **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: história, política pública, economia e recurso hídrico**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo - SP, 2021. DOI:<<https://doi.org/10.11606/9786587391120>>.
- PEDREIRA, R. M.; COELHO, A. D.; ASSIS, W. de O.; MARTINS, F. de A.; PIRES, R. C. **Algoritmo inteligente para horta automatizada**. Instituto Mauá de Tecnologia, 2022. <<https://maua.br/files/pedreira-coelho-1670871908.pdf>>.

PEREIRA, B. W. A. **Sistema automático de irrigação autônomo de baixo custo**. 38 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia da Computação) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2023. <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18530>>.

RAGAB, M. A.; BADRELDEEN, M. M.; SEDHOM, A.; MAMDOUH, W. M. **IOT based smart irrigation system**. *International Journal of Industry and Sustainable Development*, Ministry of Military Production, Egyptian Academy for Engineering & Advanced ... , v. 3, n. 1, p. 76–86, 2022. DOI:<<https://doi.org/10.3390/s20041042>>.

REIS, J. S. d. **Sistema de controle aplicado à automação de irrigação agrícola**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7470>>.

ROQUE, W. *et al.* **Desenvolvimento de um multi-sensor eletrônico para medida da umidade, temperatura e condutividade elétrica do solo**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, São Paulo - SP, 2008. DOI:<<https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2008.429197>>.

ROSTON, E. S. **Sistema de controle automatizado de baixo custo para irrigação**. Universidade Federal de São Carlos, 2021. <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15269>>.

SENAR. **Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado**. Coleção Senar Brasília - DF, v. 251, 2019. ISBN: 978-85-7664-215-2.

SHENG, Z.; MAHAPATRA, C.; ZHU, C.; LEUNG, V. C. *recent advances in industrial wireless sensor networks toward efficient management in iot*. *IEEE access*, v. 3, p. 622–637, 2015. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2435000.

SHNEIDERMAN, B. **Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction**. Boston, United States: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1997.

TECHNOLOGY, H. *Datasheet Relé HL-52S*. 2016. Disponível em: <<https://www.handsontec.com/dataspecs/2Ch-relay.pdf>>.

VALVANO, J. W. *Embedded Systems: Introduction to ARM® Cortex -M Microcontroller*. : Springer, 2014.

WOLF, M. *Computers as components: principles of embedded computing system design*. : Elsevier, 2005. ISBN: 978-0-12-388436-7.

Coruja \TeX



Este volume foi tipografado em \LaTeX na classe \CorujaTeX como uma demanda do Colegiado do curso de Engenharia Elétrica da **UFOB!** (**UFOB!**)
(https://github.com/ademariocarvalho/CCEE_UFOB_CorujaTEX).