

CENTRO PAULA SOUZA
Etec PHILADELPHIA GOUVEIA NETTO
Técnico em Mecatrônica

Janderson Donizete Secco
Rômulo Ribeiro Rocha
Gustavo Henrique Ribeiro Camara
João Victor da Silva de Paula
Gabriel Alves Pecina de Oliveira

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO

São José Do Rio Preto
2025

Janderson Donizete Secco

Rômulo Ribeiro Rocha

Gustavo Henrique Ribeiro Camara

João Victor da Silva de Paula

Gabriel Alves Pecina de Oliveira

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Técnico em Mecatrônica da ETEC Philadelpho Gouvêa Netto, orientado pelo Prof. Mario Kenji Tamura como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Mecatrônica.

São José Do Rio Preto
2025

*"A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original."*

– Albert Einstein

RESUMO

A irrigação automatizada é uma tecnologia que moderniza a agricultura ao fornecer água às plantas de forma precisa e controlada. Diferentemente dos métodos tradicionais, que dependem de observações manuais ou horários fixos, ela utiliza sensores, controladores eletrônicos e válvulas automáticas para ajustar o volume de água conforme a necessidade real das plantas e as condições ambientais. Esses sensores monitoram fatores como umidade do solo, temperatura, radiação solar e, em sistemas mais avançados, até salinidade e pH do solo.

Além de otimizar o uso da água — recurso cada vez mais escasso — a irrigação automatizada traz benefícios importantes, como aumento da produtividade, melhoria na qualidade das culturas, redução de trabalho manual e integração com tecnologias de agricultura de precisão. Por meio de aplicativos e plataformas digitais, o agricultor pode acompanhar o estado da lavoura em tempo real, mesmo à distância, tornando o manejo mais eficiente e seguro.

Apesar das vantagens, a implementação desse tipo de irrigação apresenta desafios. O custo inicial de equipamentos, sensores e sistemas de controle pode ser alto, o que dificulta a adoção em pequenas propriedades. Também é necessária manutenção periódica e calibração dos sensores para garantir que o sistema funcione de maneira precisa e durável. Além disso, o operador deve possuir conhecimento técnico para interpretar dados e ajustar corretamente o sistema, evitando erros no manejo hídrico.

A irrigação automatizada pode ser utilizada em várias escalas e tipos de cultivo. Em grandes lavouras, como soja, milho e cana-de-açúcar, contribui para maior produtividade e sustentabilidade no uso da água. Em horticulturas, floriculturas e estufas, ela permite um controle extremamente preciso, essencial para plantas sensíveis e de alto valor econômico. Também é aplicada em jardins e áreas verdes urbanas, ajudando na preservação ambiental e na redução do consumo de água em cidades.

Palavras-chave: Irrigação Automatizada, Agricultura 4.0, Sensor de Umidade, ESP32, Automação Agrícola.

ABSTRACT

Automated irrigation is a technology that has transformed modern agriculture by delivering water to plants in a precise, efficient, and controlled way. Unlike traditional irrigation, which often relies on manual observation or fixed schedules, automated systems use sensors, electronic controllers, and automatic valves to adjust the water supply based on the plant's actual needs and environmental conditions. These sensors can monitor soil moisture, temperature, sunlight, and, in more advanced systems, even soil salinity and pH levels.

Beyond saving water — a resource that is becoming increasingly scarce — automated irrigation offers several important advantages. It can boost crop productivity, improve crop quality, reduce manual labor, and integrate with precision agriculture technologies such as climate monitoring systems and farm management software. With these tools, farmers can track crop conditions in real time, even from a distance, through apps and digital platforms, making field management faster, safer, and more efficient.

However, adopting automated irrigation also comes with challenges. The initial investment in equipment, sensors, and control systems can be high, especially for small farms. Regular maintenance and sensor calibration are also necessary to keep the system accurate and reliable. In addition, operators need technical knowledge to interpret the data correctly and adjust the system to avoid mistakes and fully optimize crop performance.

Automated irrigation can be used on different scales and in various types of cultivation. In large fields of crops like soybeans, corn, and sugarcane, it helps maximize productivity and supports more sustainable water use. In horticulture, floriculture, and greenhouse environments, it provides precise water control, which is crucial for sensitive or high-value crops. It is also used in gardens and urban green areas, helping conserve water and promote environmental sustainability in cities.

Keywords: Automated Irrigation, Agriculture 4.0, Soil Moisture Sensor, ESP32, Agricultural Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma plantação

Figura 2 – Representação básica de um protótipo

Figura 3 – Protoboard

Figura 4 – Jumpers

Figura 5 – Sensor de Umidade do Solo

Figura 6 – NodeMCU ESP32

Figura 7 – Módulo Relé 1 Canal 3V

Figura 8 – bomba de água

Figura 9 – Principais tecnologias habilitadoras da indústria 4.0

Figura 10 – Modelos dos tipos de indústrias

Figura 11 – Tecnologia da indústria digital

Figura 12 – Irrigação por superfície

Figura 13 – Irrigação por aspersão

Figura 14 – Irrigação por gotejamento

Figura 15 – Central da fiação

Figura 16 – fiação bomba de água

Figura 17 – Fiação sensor de umidade

Figura 18 – Projeto completo

Figura 19 – Monitor serial do código/projeto

Figura 20 – software do projeto

Figura 21 – Software do projeto

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tecnologias envolvidas na cadeia de produção

Tabela 2 – Taxa de utilização de tecnologias de precisão nos Estados

Tabela 3 - Materiais usados e custos do protótipo

SUMARIO

1.INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivos Geral.....	9
1.1.2 Objetivos Específicos	9
1.2 Justificativa	10
1.3 Itens Utilizados	10
2. INDÚSTRIA 4.0	15
2.1 Benefícios da Indústria 4.0	18
2.1.1 Tecnologias que Impulsionam a Indústria 4.0	18
2.1.2 Desafios da Tecnologia Digital no Agro.....	18
2.2 Tipos de Irrigação.....	20
2.2.1 Irrigação Superficial.....	21
2.2.2 Irrigação por Aspersão	21
2.2.3 Irrigação por Gotejamento	22
2.3 Fundamentação Teórica.....	23
2.4 Metodologia	24
2.5 Desenvolvimento do projeto	25
2.6 Código do Protótipo	28
2.7 Resultados Esperados	36
3 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática agrícola milenar como é retratado na figura 1, essencial para o desenvolvimento das civilizações e para a produção de alimentos em diferentes regiões do planeta. Desde os sistemas de canais na Mesopotâmia até os aquedutos romanos, o controle da água sempre foi um fator determinante para o sucesso agrícola.

No século XXI, com o avanço das tecnologias digitais como vemos sendo retratado diante a figura 2, a agricultura passou a incorporar conceitos de automação e Internet das Coisas (IoT), possibilitando a criação de sistemas inteligentes de irrigação utilizando micro controladores de diversas utilidades e tamanhos. Vemos na figura 3 a utilização de um micro sistema para a interpretação de como irá funcionar. A irrigação automatizada surge como uma alternativa sustentável, capaz de reduzir o desperdício de água e aumentar a produtividade das lavouras.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e analisar um sistema de irrigação automatizado de baixo custo utilizando um microcontrolador ESP32 e sensores de umidade do solo, demonstrando sua aplicação prática e benefícios ambientais e econômicos.

Figura 1: Representação de uma plantação



Fonte: (USINAINFO – 2017)

Figura 2: representação básica de um protótipo



Fonte: (RESEARCHGATE – 2019)

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de irrigação automatizado utilizando ESP32 e sensores de umidade do solo, capaz de otimizar o uso da água e promover maior eficiência na produção agrícola.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Projetar e implementar um protótipo funcional de irrigação automatizada;
- Programar o ESP32 para realizar a leitura de sensores e controle automático da bomba de irrigação;
- Realizar testes comparativos entre irrigação manual e irrigação automatizada;
- Coletar dados referentes ao consumo de água e eficiência do sistema;
- Avaliar os benefícios econômicos e ambientais do sistema desenvolvido.

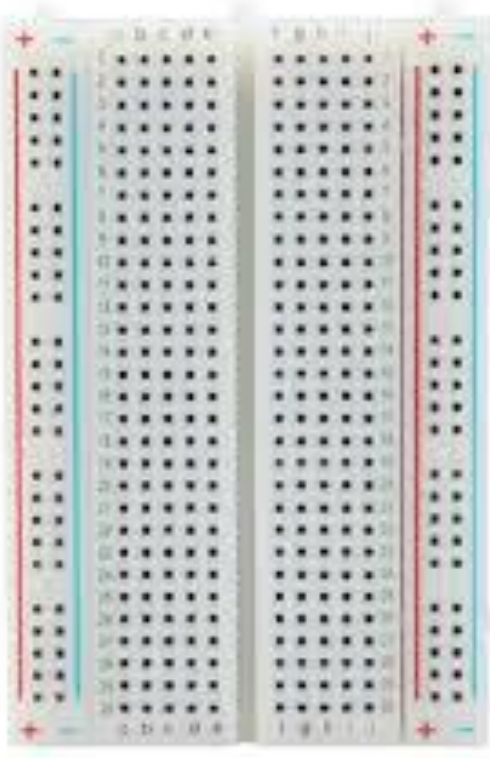
1.2 JUSTIFICATIVA

A agricultura é responsável por cerca de 70% do consumo mundial de água doce, e grande parte desse volume é desperdiçado devido à irrigação ineficiente. A escassez hídrica e o aumento da demanda por alimentos tornam urgente o desenvolvimento de tecnologias que racionalizem o uso da água.

O sistema de irrigação automatizado proposto neste trabalho busca contribuir para a sustentabilidade hídrica e para a modernização do campo, promovendo o uso eficiente da água com baixo custo de implementação e manutenção.

1.3 ITENS UTILIZADOS

Figura 3 : Protoboard



Fonte: (RS Robótica)

Protoboard:

Na figura 3 vemos a representação de uma protoboard. É uma placa de ensaio sem solda para montagem temporária e testes de circuitos eletrônicos. Ela serve para criar protótipos, permitindo que usuários conectem e desconectem componentes como resistores, capacitores e circuitos integrados facilmente para testar um projeto antes de soldá-lo em uma placa de circuito impresso (PCI) permanente

Figura 4: Jumpers

Fonte: (Eletrogate) 2022

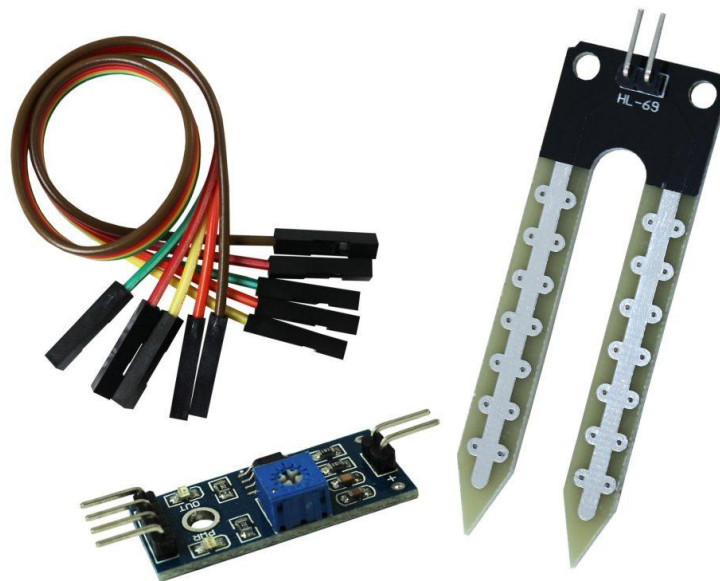
Jumpers:

Os jumpers como na figura 4 são pequenos fios condutores usados em eletrônica e prototipagem para interligar pontos em uma placa de circuito impresso (PCB) ou em um protoboard. São geralmente feitos de fio de cobre revestido com isolamento plástico, o que lhes confere flexibilidade e facilidade de manuseio.

Durante o processo de prototipagem de circuitos eletrônicos, os jumpers têm um papel essencial, pois permitem realizar conexões temporárias entre componentes, como resistores, capacitores e chips, possibilitando que engenheiros e técnicos testem e modifiquem circuitos rapidamente, sem a necessidade de soldagem permanente.

Depois que o circuito é testado e aprovado, as conexões podem ser fixadas de forma definitiva, geralmente por soldagem ou conectores.

Figura 5: Sensor de Umidade do Solo



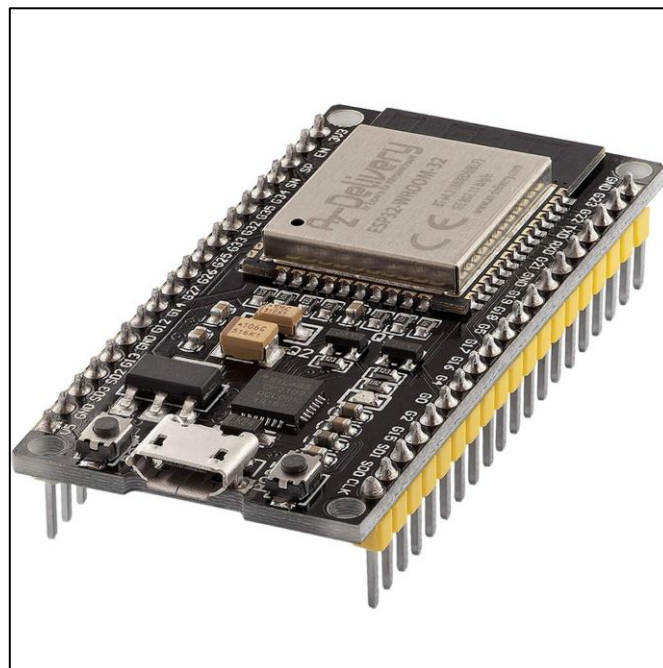
Fonte(USINAINFO – 2019)

Sensor de umidade:

O sensor de umidade do solo como visto na figura 5 é um dispositivo eletrônico utilizado para medir a quantidade de água presente no solo, permitindo que sistemas de irrigação automatizada funcionem de forma eficiente. Ele é composto por uma sonda que, quando inserida no solo, detecta a resistência elétrica entre seus terminais: quanto mais úmido o solo, menor a resistência, e quanto mais seco, maior a resistência. Essa variação é convertida em um sinal que pode ser interpretado por microcontroladores, como o ESP32, para acionar bombas ou válvulas, garantindo que as plantas recebam a

quantidade adequada de água. Existem diferentes tipos de sensores de umidade, sendo os mais comuns os resistivos, que utilizam a variação da resistência elétrica, simples e de baixo custo, mas suscetíveis à corrosão; e os capacitivos, que medem a variação da constante dielétrica do solo, oferecendo maior durabilidade e precisão. Esses sensores são essenciais para a automação de sistemas de irrigação, contribuindo para a economia de água, o manejo eficiente das culturas e práticas agrícolas mais sustentáveis.

Figura 6: NodeMCU ESP32



Fonte: (aranacorp – 2024)

Esp 32:

O ESP32 é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems que tem se destacado por sua versatilidade e baixo custo, sendo muito utilizado em projetos de automação, Internet das Coisas (IoT) e sistemas embarcados. Ele possui um processador dual-core de 32 bits com capacidade de até 240 MHz, memória SRAM de 520 KB e memória flash de 4 MB, além de oferecer conectividade Wi-Fi e Bluetooth integradas visto na figura 6 a cima . Essa combinação permite que o ESP32 controle diversos dispositivos periféricos e se comunique de forma eficiente com outros sistemas. Entre suas interfaces estão UART, SPI, I2C, ADC, DAC e PWM, o que possibilita

aplicações variadas, desde automação residencial e monitoramento ambiental até sistemas industriais e dispositivos vestíveis. Por sua facilidade de uso e compatibilidade com diferentes plataformas de desenvolvimento, o ESP32 se tornou uma ferramenta poderosa para quem deseja criar projetos inteligentes, econômicos e conectados, tornando a tecnologia acessível tanto para iniciantes quanto para profissionais.

Figura 7: Módulo Relé 1 Canal 3V



Fonte: (eletrogate – 2025)

Relé:

Acima na figura 7 vemos o relé, é um componente eletromecânico fundamental em sistemas de automação e controle. Ele funciona como um interruptor controlado eletricamente, permitindo que circuitos de alta potência sejam acionados por sinais de baixa potência. Basicamente, o relé é composto por uma bobina, que, ao ser energizada, gera um campo magnético capaz de mover uma alavanca que abre ou fecha os contatos do circuito. Essa característica torna o relé essencial para isolar circuitos sensíveis de circuitos de potência, garantindo segurança e eficiência no controle de dispositivos como motores, válvulas e sistemas de iluminação.

Existem diversos tipos de relés, cada um com características específicas para atender a diferentes necessidades. Por exemplo, os relés eletromagnéticos são amplamente utilizados devido à sua simplicidade e confiabilidade. Já os relés de estado sólido, que não possuem partes móveis, oferecem maior durabilidade e são ideais para aplicações que exigem alta velocidade e resistência a vibrações.

Figura 8: bomba de água



Fonte: (ELETROGATE – 2017)

Bomba de água:

A mini bomba d'água 5V submersa é um dispositivo amplamente utilizado em projetos que envolvem a movimentação de água, especialmente em sistemas de baixo consumo energético como mostrado na figura 8.

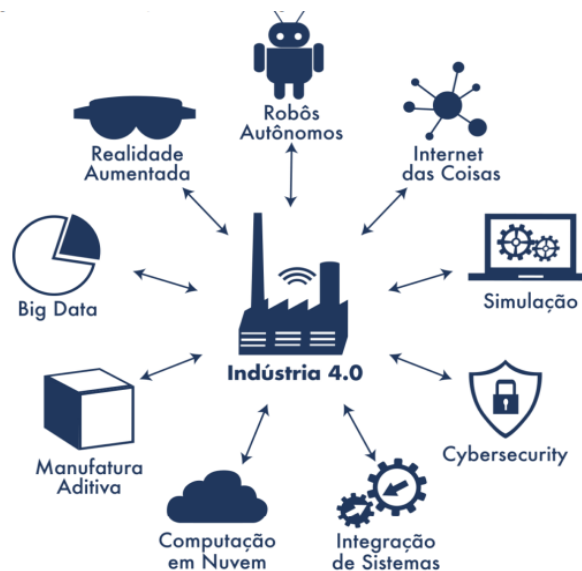
2. INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 reinventou o modo como as empresas projetam, fabricam e distribuem produtos. Tecnologias como Internet Industrial das Coisas (IIoT), conectividade em nuvem, IA e Machine Learning agora estão profundamente integradas

ao processo de produção. Essa abordagem unificada e integrada à produção resulta em produtos, fábricas e ativos conectados e inteligentes.

As iniciativas atuais da Indústria 4.0 também buscam desenvolver colaborações simbióticas e gratificantes entre pessoas e tecnologia. Quando a precisão e a velocidade das ferramentas 4.0 se juntam à criatividade, ao talento e à inovação de seu pessoal, você obtém uma vitória/vitória para sua força de trabalho e seus resultados. Suas operações de produção se tornam mais eficientes e produtivas, e suas equipes ficam aliviadas de muitas tarefas rotineiras e repetitivas – dando-lhes a oportunidade de colaborar com tecnologias inteligentes e se equipar melhor para o cenário tecnológico em evolução e o futuro do trabalho baseado em IA.

Figura 9: Principais tecnologias habilitadoras da indústria 4.0



Fonte: DOUTOR IOT (2023)

A Indústria 4.0 é a quarta revolução industrial, caracterizada pela integração de tecnologias digitais inteligentes aos processos de produção. Ela utiliza automação, internet das coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e análise de dados (big data) para criar “fábricas inteligentes” que aumentam a produtividade, a eficiência e a flexibilidade. O objetivo principal é tornar a produção mais ágil, personalizada e inteligente, permitindo

que as empresas tomem decisões em tempo real e aprimorem a forma como fabricam, aprimoram e distribuem seus produtos.

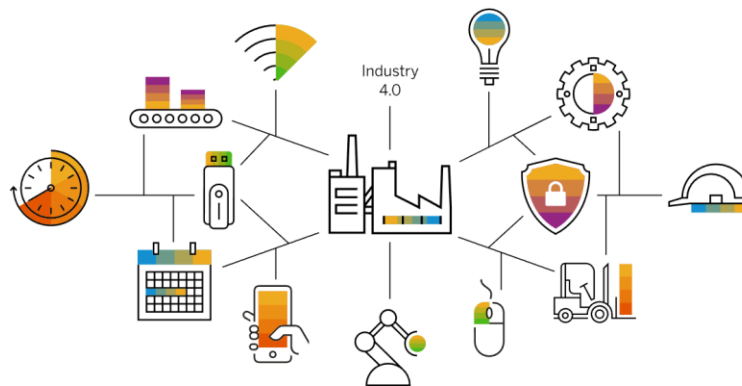
Figura 10: Modelos dos tipos de indústrias



Fonte: TCA Industrial

As revoluções industriais se sucedem do surgimento da máquina a vapor (1ª) à automação eletrônica (3ª), culminando na Indústria 4.0, que integra tecnologias digitais avançadas para criar "fábricas inteligentes". A indústria 4.0 utiliza automação, conectividade, inteligência artificial e big data para otimizar processos, aumentar a eficiência, permitir customização em massa e tomar decisões em tempo real.

Figura 11: Tecnologia da indústria digital



Fonte :SAP

2.1. Benefícios Da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 representa mais do que uma simples atualização tecnológica. Ao eliminar silos e conectar equipes e operações em toda a estrutura de produção, você começa a estabelecer uma maneira mais transparente e holística de fazer negócios – que pode eventualmente se estender por todas as áreas de sua organização.

A eficiência operacional é aprimorada com melhor alocação de recursos, tempo de inatividade reduzido e maior produtividade. Essa eficiência se estende a iniciativas de sustentabilidade, em que funções analíticas e automações inteligentes podem ajudar você a simplificar e otimizar ainda mais o uso de energia, reduzir o desperdício e até mesmo projetar e inovar produtos mais sustentáveis ao longo de todo o ciclo de vida.

Como as soluções e ferramentas da Indústria 4.0 permitem que você colete, analise e interprete grandes volumes de dados em tempo real – você pode obter insights práticos com mais rapidez e assim tomar decisões com segurança e precisão. Isso também se aplica aos clientes, porque as demandas e expectativas deles também estão mudando na velocidade da luz. Desta forma, as

funções analíticas de dados em tempo real podem ajudar você a se adaptar rapidamente para personalizar produtos e fornecer soluções adequadas sob demanda.

2.1.1 Tecnologias Impulsionando a INDÚSTRIA 4.0

- computação em nuvem
- internet das coisas
- IA e aprendizado de máquina
- Edge computing
- Cibersegurança

2.1.2 Desafios Da Tecnologia Digital no Agro

A produção global de alimentos terá de aumentar em mais de 70% até 2050, para que seja possível alimentar uma população estimada em nove bilhões de pessoas, sendo mais de 95% concentrada em regiões urbanas. Atualmente é produzido alimento

suficiente para 12 bilhões de pessoas, porém mais de 900 milhões ainda vivem em insegurança alimentar (FAO, 2013). S

São muitos os gargalos envolvidos nesse processo, como a restrição na oferta de água, as incertezas climáticas, as dificuldades no manejo agrônomo, as limitações edáficas e as perdas observadas em todas as etapas, tanto da cadeia de produção como na distribuição dos alimentos.

Se a produtividade média das principais culturas for mantida nos valores atuais, para produzir o alimento necessário para suprir a demanda será preciso mais que duplicar a área de produção. O aumento na eficiência genética das culturas, a manutenção do cenário atual de dano, causado por pragas e correções no processo de distribuição, estão entre algumas das medidas mais relevantes.

Ao longo da história, diversas tecnologias foram agregadas à atividade agrícola, para o aumento na sua eficiência, e resultaram no notável incremento da produtividade observado atualmente.

Tabela 1: tecnologias envolvidas na cadeia de produção

Antes da fazenda		Dentro da fazenda		Mercado		
Genética	Insumos	Produção	Colheita	Distribuição	Processamento	Consumo
Mineiração de dados		Imageamento		Mineiração de dados		
Computação		Automoção		Comunicação		
Biotecnologia		GPS		Otimização		
Genética		Agricultura de precisão		Mobilidade		
Big Data		Plataformas de predição		Big Data		

Fonte: cultivas revista

Igualmente desafiador é o estabelecimento de um processo vertical de oferta de alimentos que inclui aumento na eficiência da cadeia de distribuição e adequações para atender ao regramento global de comercialização dos produtos agrícolas.

Como as tecnologias digitais podem auxiliar na produtividade das culturas e na distribuição dos alimentos

Tabela 2: taxa de utilização de tecnologias de precisão nos Estados Unidos em cultivos extensivos

Taxa de utilização de tecnologias de precisão	2017	2019
Sistemas de orientação GPS com controle automático para aplicação de fertilizantes/produtos químicos	78%	86%
Seção automática de barra do pulverizador ou controle de bico	78%	86%
Sistemas de orientação GPS com controle manual (barra de luz) para aplicação de fertilizantes/produtos químicos	78%	86%
Imagens de satélite/aéreas	78%	86%
Monitoramento usando um aplicativo em um dispositivo móvel para registrar situações e locais de campo	78%	86%
Mapeamento de campo com GIS para documentar o trabalho para fins de cobrança/seguro/legal	78%	86%
Utilização de VANT	78%	86%
GPS para gerenciar a logística de veículos, rastrear a localização dos veículos e guiar os veículos até o próximo site	78%	86%
Telemática para trocar informações entre aplicadores ou de/para o escritório	78%	86%
Compensação de manobras do pulverizador	78%	86%
Gotas em Y nos aplicadores de fertilizantes	78%	86%
Outros sensores de solo para mapeamento, montados em um captador, aplicador ou trator (exemplo: sensor de pH)	78%	86%
Sensores de clorofila/green effect montados em um captador, aplicador ou trator	78%	86%

Fonte: cultivas revista

Estudo realizado entre 2017 e 2019 junto a cooperativas, consultores e indústria nos Estados Unidos (Tabela 2) apresenta um aumento lento na adoção das tecnologias digitais totalmente ligadas à produção, destacando-se equipamentos orientados por GPS e/ou utilização de imagens para diagnóstico do status das lavouras

2.2 TIPOS DE IRRIGAÇÃO

Os principais tipos de irrigação são superficial (como sulcos), por aspersão (simula chuva, com sistemas como pivô central) e localizada (gotejamento e microaspersão). A escolha do método depende das condições climáticas, tipo de solo e da cultura a ser plantada, com o objetivo de atender às necessidades hídricas da planta de forma eficiente

2.2.1 IRRIGAÇÃO SUPERICIAL

A irrigação por superfície é um método de irrigação tradicional que usa a gravidade para distribuir água sobre o solo através de sulcos como mostrado na figura 13, faixas ou inundação. A água infiltra no solo e se move pelas camadas mais profundas até as raízes das plantas, sendo ideal para solos de textura fina a média com declividade baixa e uniforme. É um sistema com baixo custo inicial e operacional, mas sua eficiência é menor se comparado a outros métodos, devido às perdas de água por infiltração profunda e escoamento superficial.

Figura 12: Irrigação por superfície



Fonte: Terramagna

2.2.2 Irrigação Por Aspersão

A irrigação por aspersão é um método de irrigação que simula a chuva como mostrado na Figura 14, lançando jatos de água pressurizada sobre as plantas e o solo. É um dos métodos mais utilizados por sua versatilidade, pois se adapta a diversos tipos de solo e topografia e pode ser automatizado. Embora eficiente e adaptável, o método tem desvantagens como custos de instalação e operação mais altos, sensibilidade ao vento e propensão a doenças em algumas culturas

Figura 13: Irrigação por aspersão



Fonte: BoosterAgro

2.2.3 Irrigação Por Gotejamento

A irrigação por gotejamento é um sistema eficiente que distribui água diretamente nas raízes das plantas, de forma controlada e gradual. Com isso, proporciona uma irrigação mais precisa e econômica, reduzindo desperdícios e garantindo o uso racional da água – um recurso cada vez mais escasso.

Essa tecnologia é adequada para todos os cultivos e produtores, independente do tamanho de sua propriedade.

Figura 14: Irrigação por gotejamento



Fonte: MF Magazine

2.3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A automação agrícola, também conhecida como agricultura de precisão, consiste na aplicação de tecnologias avançadas para monitorar e controlar processos produtivos no campo. Entre as principais vantagens destacam-se o aumento da produtividade, a redução de custos e a sustentabilidade ambiental.

O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo que possui conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrados, o que possibilita a implementação de soluções em Internet das Coisas (IoT). Esse dispositivo pode ser programado para coletar dados de sensores e realizar o controle de atuadores, como bombas e válvulas.

Os sensores de umidade do solo são dispositivos utilizados para medir a quantidade de água presente no solo. Com esses dados, é possível determinar o momento exato de realizar a irrigação, evitando desperdícios. Estudos apontam que o uso desses sensores pode reduzir o consumo de água em até 40% quando comparado a métodos tradicionais de irrigação.

A integração entre ESP32, sensores de umidade e atuadores permite o desenvolvimento de sistemas inteligentes de irrigação, capazes de se adaptar às condições reais do solo, proporcionando ganhos em eficiência e economia.

2.4 METODOLOGIA

O projeto será desenvolvido em etapas, contemplando desde a pesquisa bibliográfica até a implementação prática do protótipo. As principais etapas são descritas a seguir:

- Pesquisa e revisão bibliográfica sobre automação agrícola e uso de sensores de umidade;
- Seleção dos materiais: ESP32, sensor de umidade do solo, módulo relé, bomba d'água, fonte de alimentação e conexões;
- Montagem do protótipo em bancada de testes;
- Desenvolvimento do código de controle utilizando a IDE Arduino;
- Testes de funcionamento do sistema em diferentes condições de umidade;
- Coleta e análise dos dados referentes ao consumo de água;
- Elaboração de gráficos comparativos entre o método tradicional e o método automatizado.

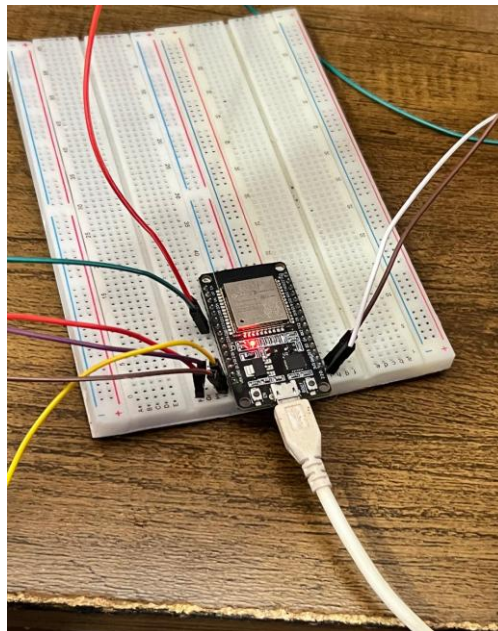
2.5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Com a ideia do projeto definida, entramos em ação para a montagem do sistema inicial como mostrado na figura 15 e figura 16, que foi realizada em bancada utilizando o microcontrolador ESP32, sensores de umidade do solo, módulo relé, bomba submersa de 5V, placa protoboard, jumpers e um cabo para alimentação do microcontrolador. O protótipo foi testado em diferentes condições de umidade do solo para avaliar o desempenho do sistema automatizado.

Partimos para a parte de testes mais a fundos, como vemos na Figura 17 e Figura 18. Logo mais a frente com forme vemos na Figura 19 e Figura 20 o código e o monitor

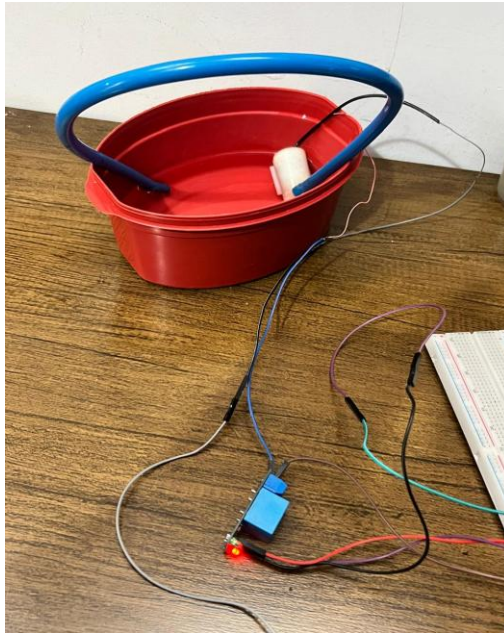
serial do protótipo, dentro do código é composto por uma lógica fácil de interpretar, como foi utilizado C++ dentro do projeto, e o monitor serial serve para termos em tempo real as informações que teríamos dentro do web site que está dentro da programação, mostrando a situação da bomba, se ela se encontra ligada ou desligada, a medida do solo, e essa medida é atualizada em 1 segundo para se obter uma captação maior e ter resultados certos, também é mostrado a situação que o solo se encontra, dentro do protótipo foi proposto em 3 etapas que seriam elas, encharcado, úmido e baixa umidade, e todas estas informações seriam o mais preciso possível para não ter espaço para falhas que possam vim a cair no prejuízo.

Figura 15: Central da fiação



Fonte: Autor próprio

Figura 16: fiação bomba de água



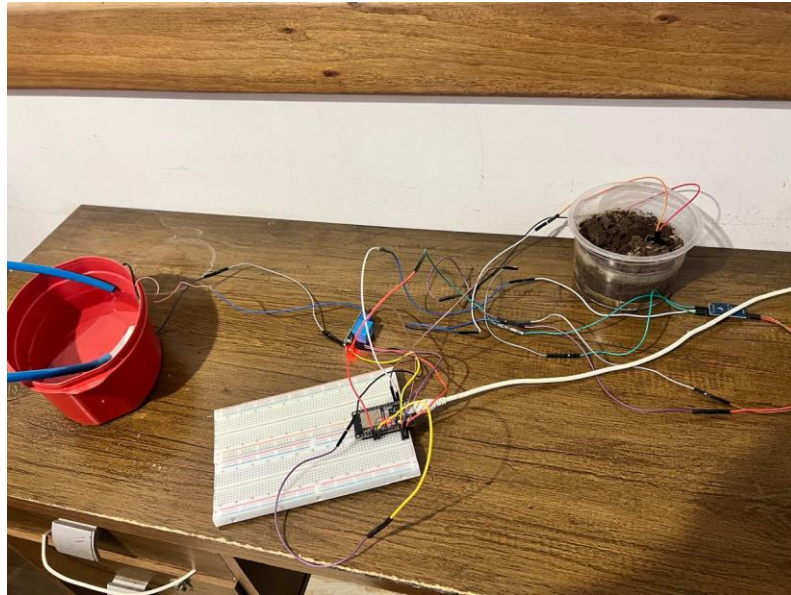
Fonte: Autor próprio

Figura 17: Fiação sensor de umidade



Fonte: Autor próprio

Figura 18: Projeto completo



Fonte: Autor próprio

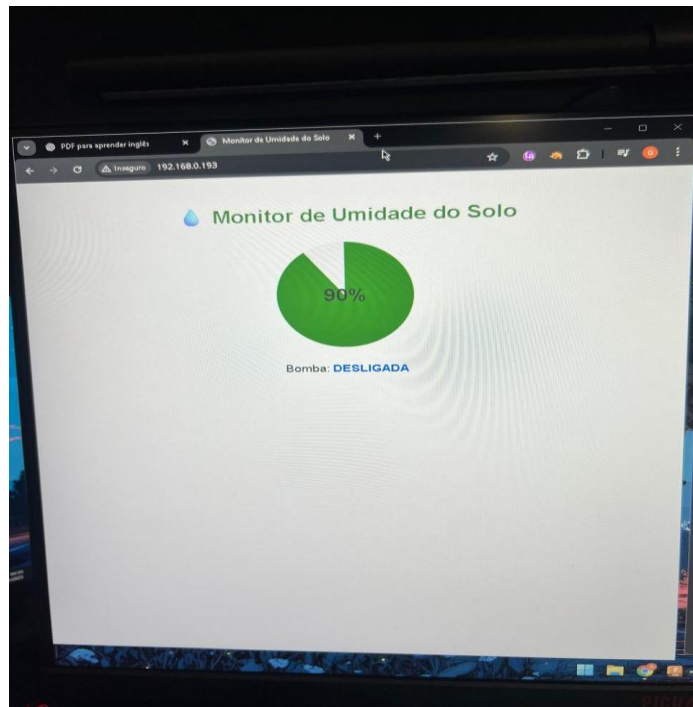
Figura 19: Monitor serial do código/projeto

```

COM7
Leitura: 103 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 202 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 224 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 207 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 108 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 179 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 210 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 220 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 190 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 184 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 209 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 210 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 196 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 190 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 222 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 217 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 198 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 199 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 194 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 232 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 203 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 205 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 230 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 196 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 220 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 215 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 179 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 219 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 198 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 185 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 227 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 169 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 205 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 200 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 168 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 219 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 183 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 229 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 190 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 220 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 199 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 210 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 193 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 224 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 171 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 224 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 190 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 209 | Umidade: 100% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 256 | Umidade: 98% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 274 | Umidade: 93% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 290 | Umidade: 88% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 285 | Umidade: 90% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 289 | Umidade: 88% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 307 | Umidade: 83% | Bomba: DESLIGADA
Leitura: 270 | Umidade: 92% | Bomba: DESLIGADA
  
```

Fonte: Autor próprio

Figura 20: software do projeto



Fonte : Autor próprio

2.5 CÓDIGO DO PROTÓTIPO

```
#include <WiFi.h>
```

```
#include <WebServer.h>
```

```
//
```

```
// CONFIGURAÇÕES DE REDE
```

```
const char* ssid = "Gustavo";          // nome da rede WiFi
```

```
const char* password = "gustavo11061996"; // senha WiFi
```

```
const char* hostname = "horta-esp32";  // nome do dispositivo
```

```
//  
  
// PINOS E CALIBRAÇÃO  
const int PUMP_PIN = 32;  
const int SOIL_PIN = 34;  
  
// Valores calibrados para o seu sensor  
const int SOIL_DRY_THRESHOLD = 600; // solo seco → liga bomba  
const int SOIL_WET_THRESHOLD = 250; // solo úmido → desliga bomba  
  
//  
  
// VARIÁVEIS GLOBAIS  
WebServer server(80);  
int leituraBruta = 0;  
int umidade = 0;  
bool bombaLigada = false;  
  
//  
  
// FUNÇÃO PARA LER SENSOR COM MÉDIA (EVITA OSCILAÇÃO)  
int lerSensor() {
```

```
long soma = 0;
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    soma += analogRead(SOIL_PIN);
    delay(20);
}

return soma / 10;
}

//

// LÓGICA DE CONTROLE DA BOMBA
void controleBomba() {
    leituraBruta = lerSensor();

    // converte para porcentagem (0 = seco, 100 = úmido)
    umidade = map(leituraBruta, SOIL_DRY_THRESHOLD,
SOIL_WET_THRESHOLD, 0, 100);

    if (umidade < 0) umidade = 0;
    if (umidade > 100) umidade = 100;

    // controle automático da bomba
```

```
if (leituraBruta >= SOIL_DRY_THRESHOLD) {  
    digitalWrite(PUMP_PIN, HIGH);  
    bombaLigada = true;  
  
}  
  
else if (leituraBruta <= SOIL_WET_THRESHOLD) {  
    digitalWrite(PUMP_PIN, LOW);  
    bombaLigada = false;  
  
}  
  
// mostra no monitor serial  
Serial.print("Leitura: ");  
Serial.print(leituraBruta);  
Serial.print(" | Umidade: ");  
Serial.print(umidade);  
Serial.print("% | Bomba: ");  
Serial.println(bombaLigada ? "LIGADA" : "DESLIGADA");  
  
}  
  
//
```



```

// PÁGINA HTML + CSS + JS (INTERFACE WEB)

String paginaHTML() {
    String html = R"rawliteral(
<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-br">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<title>Monitor de Umidade do Solo</title>
<style>
    body { font-family: Arial; background: #f2f2f2; text-align: center; padding: 20px; }
    h1 { color: #2e7d32; }
    .gauge { width: 200px; height: 200px; border-radius: 50%; background: conic-
gradient(#2e7d32 calc(var(--umidade)*1%), #ddd 0); display: flex; align-items: center;
justify-content: center; margin: 30px auto; font-size: 2em; font-weight: bold; color: #333; }
    .status { font-size: 1.2em; margin-top: 15px; }
    .bomba { color: #1565c0; font-weight: bold; }
</style>
<script>
    async function atualizar() {
        const res = await fetch('/dados');
        const data = await res.json();
        const gauge = document.getElementById('gauge');
        gauge.style.setProperty('--umidade', data.umidade);

```

```

    gauge.innerHTML = data.umidade + '%';

    document.getElementById('bomba').textContent = data.bomba ? 'LIGADA' :
'DESLIGADA';

}

    setInterval(atualizar, 1000);

</script>

</head>

<body>

    <h1>Monitor de Umidade do Solo</h1>

    <div id="gauge" class="gauge" style="--umidade:0">0%</div>

    <div class="status">Bomba: <span id="bomba" class="bomba">---</span></div>

</body>

</html>

)rawliteral";

    return html;

}

//

// ROTA PRINCIPAL E ROTA DE DADOS

void handleRoot() {

```

```
server.send(200, "text/html", paginaHTML());

}

void handleDados() {

    String json = "{}";

    json += "\"umidade\":" + String(umidade) + ",";

    json += "\"bomba\":" + String(bombaLigada ? "true" : "false");

    json += "}";

    server.send(200, "application/json", json);

}

//

// CONFIGURAÇÃO INICIAL

void setup() {

    Serial.begin(115200);

    pinMode(PUMP_PIN, OUTPUT);

    digitalWrite(PUMP_PIN, LOW);

    WiFi.mode(WIFI_STA);

    WiFi.begin(ssid, password);
```

```
WiFi.setHostname(hostname);

Serial.print("Conectando ao Wi-Fi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");

}

Serial.println("\nWi-Fi conectado!");
Serial.print("IP do ESP32: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

server.on("/", handleRoot);
server.on("/dados", handleDados);
server.begin();
Serial.println("Servidor web iniciado!");

}

//

// LOOP PRINCIPAL
```

```
void loop() {  
  server.handleClient();  
  controleBomba();  
  delay(1000);  
}
```

2.6 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que o sistema de irrigação automatizado seja capaz de reduzir significativamente o consumo de água, quando comparado ao método manual de irrigação. Estimativas baseadas em pesquisas indicam uma economia média de 30% a 40% no uso da água.

Além da economia de recursos hídricos, o sistema deverá proporcionar maior uniformidade na irrigação, garantindo melhores condições de cultivo. Com isso, espera-se também uma melhoria nos índices de produtividade agrícola, aliando economia e sustentabilidade.

3. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de automação de irrigação utilizando ESP32 e sensores de umidade do solo. O estudo demonstrou a relevância da automação agrícola como ferramenta para promover o uso sustentável da água e reduzir os custos de produção.

Conclui-se que a implementação de soluções de baixo custo baseadas em microcontroladores e sensores tem grande potencial de impacto positivo na agricultura, especialmente em pequenos e médios produtores. Além disso, a proposta pode ser expandida com recursos de conectividade IoT, permitindo o monitoramento remoto e a integração com sistemas de análise de dados

Tabela 3: Materiais usados e custos do protótipo

Descrição	Quantidade	Valor R\$
ESP 32 30 pinos do it	1 unidade	R\$ 32,88
Modulo sensor de umidade	1 unidade	R\$ 15,10
Kit jumper	17 fios	R\$ 25,10
Rele 1 canal 5v	1 unidade	R\$ 18,43
Protoboard	2 unidades	R\$ 17,43
Mangueira	1 unidade	R\$0,00

Fonte : Autor próprio

Custo total do projeto: +/- R\$ 108,94

Comparativo de mercado

Dentro do mercado encontramos diversos parâmetros de valores e modelos para diversos usos dentro da utilização para jardinagem e também para pequenos espaços,

como exemplo para pequenas plantas, pequenos canteiros entre outros, a média de preço encontrado foi desde R\$ 155 Reais até R\$ 300 Reais.

Dentro do nosso protótipo além de ter mais flexibilidade de moldagem e diversos modelos para o software, contando também com recebimento de sinais via conexão WI-FI ou Bluetooth, também conta principalmente pelo seu custo benefício.

REFERÊNCIAS

THE HISTORY AND EVOLUTION OF IRRIGATION TECHNIQUES. Irrigation history in Mesopotamia and Egypt, 6000 B.C.

TESTEZLAF, R. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. (2017). Sobre irrigação por superfície na Mesopotâmia e Egito.

HAWRYLUK, Matt. The History of Irrigation: From Ancient Canals to Smart Systems. (21 Jul 2025). Inclui irrigação em Mesopotâmia, Egito, Roma.

WIKIPÉDIA. Dujiangyan irrigation system (en). (último mês). Sobre Dujiangyan (256 a.C.) na China.

WIKIPÉDIA. Irrigation (en). (última semana). Tecnologias de irrigação na China antiga, bombas, etc.

WIKIPÉDIA. Ancient Roman technology – Waterworks. (há 2 dias). Sobre aquedutos, engenharia romana

IPELab-UFG. *Protoboard: o que é e como usar*. Disponível em: <https://ipelab.ufg.br/n/156373-protoboard-o-que-e-e-como-usar>

MakerHero. Jumpers – O que são, como funcionam e modelos. Disponível em: <https://www.makerhero.com/categoria/prototipagem/jumpers/#:~:text=Os%20jumpers%20funcionam%20como%20condutores,cobre%20revestido%20com%20isolamento%20pl%C3%A1stico>

SILVA, João. Automação agrícola: fundamentos e aplicações. São Paulo: Atlas, 2020.

LIMA, Carlos. Uso de sensores de umidade no controle de irrigação. Revista Brasileira de Agricultura, v. 15, n. 2, 2021.

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 Datasheet. Disponível em: <https://www.espressif.com>. Acesso em: 27 ago. 2025.

PEREIRA, Marcos. Agricultura 4.0: tecnologias para o campo. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

CA Industrial. Indústria 4.0. O que é e como chegamos até aqui?. Disponível em:

<https://tcas.com.br/industria-4-0-o-que-e-e-como-chegamos-ate-aqui/>

AP. *O que é a Indústria 4.0?* Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html#:~:text=Defini%C3%A7%C3%A3o%20da%20Ind%C3%BAstria%204.0,tamb%C3%A9m%20conhecida%20como%20Ind%C3%BAstria%204.0>.

NETAFIM. Irrigação por gotejamento. Disponível em: <https://www.netafim.com.br/irrigacao-por-gotejamento/>

NETAFIM. Irrigação por gotejamento. Disponível em: <https://www.netafim.com.br/irrigacao-por-gotejamento/>

AEGRO. Irrigação por superfície: Como funciona, tipos e quando vale a pena. Disponível em: <https://aegro.com.br/blog/irrigacao-por-superficie/#:~:text=Boa%20leitura!->

,Como%20funciona%20o%20m%C3%A9todo%20de%20irriga%C3%A7%C3%A3o%20por%20superf%C3%A2ncie?,e%20com%20que%20frequ%C3%A2ncia%20irrigar.

VICTOR VISION. Placa ESP32: O que é, para que serve e uso! Disponível em: 2023

MERCADO LIVRE. *Protoboard 830 pontos – Breadboard 830 furos Arduino*. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/protoboard-830-pontos-breadboard-830-furos-arduino/p/MLB28453899>

MERCADO LIVRE. *Jumper macho–macho 20 cm – 40 unidades*. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/jumper-macho-macho-20cm-40-unidades/p/MLB27731089>