

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Departamento de Computação

Bruno Williams Antunes Pereira

Sistema automático de irrigação autônomo de baixo custo

São Carlos

2023

Bruno Williams Antunes Pereira

Sistema automático de irrigação autônomo de baixo custo

Monografia final de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Computação Dissertação – DC–UFSCar, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Área de concentração: Internet of Things (IoT)

Orientador: Prof. Dr. Edilson Reis Rodrigues Kato

São Carlos

2023

RESUMO

PEREIRA, B. W. A. **Sistema automático de irrigação autônomo de baixo custo.** 2023. 37p. Monografia - Departamento de Computação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo. O sistema emprega um Arduino e um sensor para monitorar continuamente os níveis de umidade no solo. Quando a umidade do solo atinge um limiar predefinido, um mecanismo de irrigação, acionado por uma válvula solenoide, entra em operação. Esse processo de irrigação é mantido até que a umidade do solo alcance um novo patamar desejado, momento em que o sistema interrompe automaticamente o fornecimento de água. É importante ressaltar que esse sistema opera de forma autônoma em termos energéticos, uma vez que seus componentes são alimentados por meio de um painel solar, garantindo sua sustentabilidade e eficiência energética. Este trabalho abrange uma variedade de tópicos relacionados à irrigação, incluindo os princípios e métodos associados a essa prática agrícola. Além disso, descreve detalhadamente o funcionamento dos componentes utilizados. O processo de montagem é descrito, proporcionando uma visão abrangente de como o sistema é construído e implementado. No que diz respeito ao aspecto financeiro, este projeto apresenta um custo médio estimado de 170 reais. Isso inclui todos os componentes e materiais necessários para a montagem e operação eficaz do sistema de irrigação automatizado.

Palavras-chave: sistema de irrigação, sistema autônomo, sistema solar, internet das coisas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação dos Principais Sistemas de Irrigação	8
Figura 2 – Irrigação por Aspersão	9
Figura 3 – Irrigação por Carretel	10
Figura 4 – Irrigação por Gotejamento	11
Figura 5 – Irrigação por Inundação	11
Figura 6 – Irrigação por Microaspersão	12
Figura 7 – Irrigação por Pivô Central	13
Figura 8 – Irrigação por Sulcos	13
Figura 9 – Microcontrolador 8048	14
Figura 10 – Painel Fotovoltaico	16
Figura 11 – Diagrama Projeto Proposto	20
Figura 12 – Resultado da Calibração – Monitor Serial	25
Figura 13 – Gráfico Calibração do Sensor de Umidade	26
Figura 14 – Gráfico demonstrativo do acionamento da irrigação	27
Figura 15 – Teste LED com Solo Seco e Úmido	27
Figura 16 – Sistema completo incorporado em uma horta doméstica	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de Custo dos Componentes Utilizados	24
Tabela 2 – Resultado da Calibragem do Sensor de Umidade de Solo	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Contexto	7
1.2	Motivação e Objetivos	7
2	CONCEITOS BÁSICOS	8
2.1	Irrigação	8
2.2	Microcontroladores e Arduino	14
2.3	Energia Solar	16
3	TRABALHOS RELACIONADOS	18
3.1	Microcontroladores e Irrigação	18
3.2	Sistema alimentado por painel solar	19
4	PROPOSTA DE TRABALHO	20
4.1	Arduino	20
4.2	Válvula Solenoide 12 V	21
4.3	Sensor de umidade do solo capacitivo	22
4.4	Painel Solar ou Fotovoltaico	22
4.5	Relé	23
4.6	Protoboard	23
4.7	Custo do Projeto	24
5	IMPLEMENTAÇÃO	25
6	CONCLUSÃO	29
7	TRABALHOS FUTUROS	30
	REFERÊNCIAS	31
	APÊNDICES	33
	APÊNDICE A – CÓDIGO ARDUINO PARA A CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE UMIDADE	34
	APÊNDICE B – CÓDIGO SISTEMA AUTOMÁTICO DE IRRIGA- ÇÃO	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

A escassez de recursos hídricos, combinada com a necessidade de otimizar o uso de água na agricultura e jardinagem, tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas de irrigação de baixo custo e sustentáveis. Nesse contexto, a combinação do Arduino, uma plataforma de prototipagem eletrônica acessível, e painéis solares, uma fonte de energia renovável, tem se mostrado uma solução promissora para a criação de sistemas de irrigação eficientes, econômicos e ecologicamente responsáveis.

Neste trabalho, exploraremos as vantagens e benefícios do uso do Arduino e painéis solares em sistemas de irrigação de baixo custo. Discutiremos como a integração dessas tecnologias pode oferecer uma solução acessível para melhorar a eficiência hídrica, reduzir custos operacionais e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de irrigação automático de baixo custo, utilizando o Arduino como microcontrolador e um painel solar como fonte de alimentação.

1.2 Motivação e Objetivos

O que motivou o desenvolvimento deste trabalho de graduação foi o documentário Garapa de José Padilha (PADILHA, 2009). Quando estava no curso preparatório para o vestibular em uma das minhas aulas o professor passou o documentário Garapa. Neste curta metragem é retratado o cotidiano de três famílias do sertão cearense em estado de insegurança alimentar. O documentário mostrou a constante luta para que a plantação familiar desse algum fruto, onde dia após dia o sertanejo capinava a terra seca e a plantação não prosperava. O que chamou a atenção é que uma das famílias tinha a plantação a poucos quilômetros de distância de um rio e ele sempre ia buscar água para consumo e irrigar a lavoura. O que me fez conceber este trabalho de graduação.

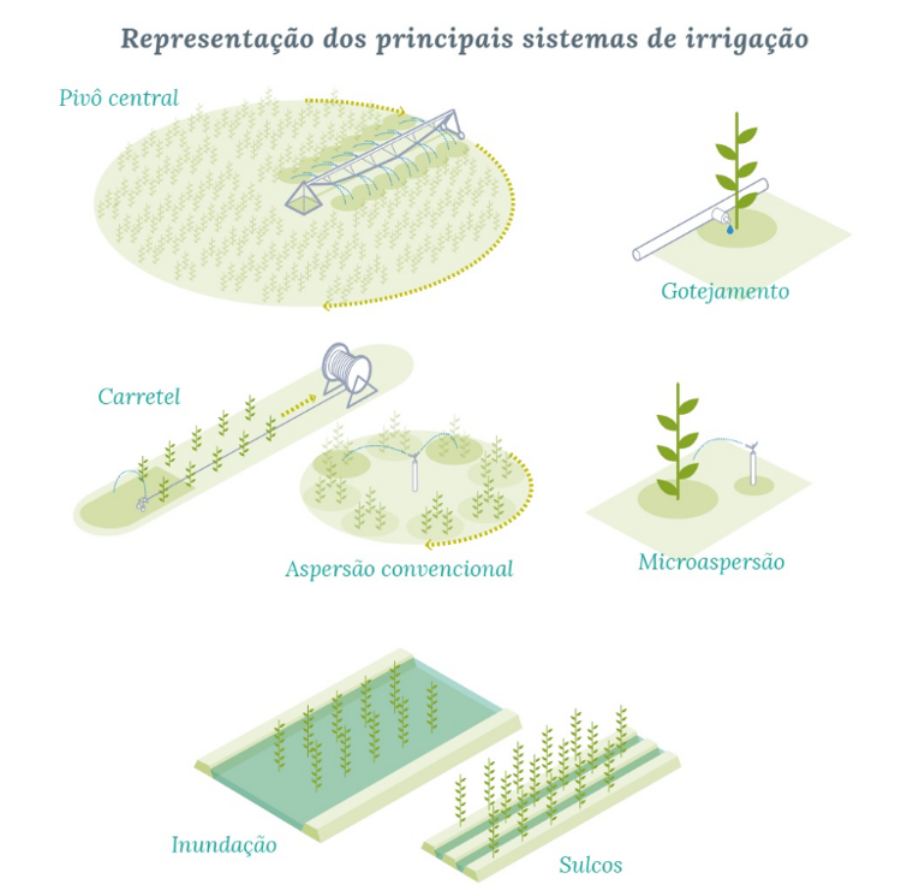
Assim, levou ao objetivo dessa monografia, o desenvolvimento de um sistema de irrigação autossuficiente de baixo custo, focado em desenvolver um sistema de monitoramento do solo, utilizando sensores de umidade. Essas informações que estão sendo monitoradas serão utilizadas para o acionamento da válvula de água que permitirá a irrigação do solo. O sistema será energizado por meio de um painel solar, tornando-o autossuficiente na questão energética.

2 CONCEITOS BÁSICOS

2.1 Irrigação

Segundo (MAROUELLI; SILVA, 1998), a irrigação é uma técnica que objetiva o fornecimento de água para plantas na quantidade ideal de forma que estas possam se desenvolver de forma adequada. É o processo de fornecer água artificialmente a plantas cultivadas, com o objetivo de aumentar a produção agrícola e garantir o suprimento de água em áreas onde ela é escassa. Existem diversos tipos de sistemas de irrigação, destacando, aspersão convencional, carretel, gotejamento, inundação, microaspersão, pivô central e sulcos, como mostra a Figura 1. A irrigação é essencial em climas secos e com escassez de água, mas também pode ser usada para melhorar a qualidade e o rendimento das plantas. No entanto, é importante usar esses sistemas de forma consciente e eficiente para evitar o desperdício de água e possíveis impactos ambientais negativos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021).

Figura 1 – Representação dos Principais Sistemas de Irrigação



Fonte: Andrade e Brito (2006)

A irrigação por aspersão convencional é um sistema de irrigação que usa tubos e bicos para pulverizar água nas plantações. É um dos sistemas mais comuns e amplamente utilizados no mundo, como mostrado na Figura 2. Este tipo de sistema consiste em uma bomba, tanque, rede de tubulação e aspersores. As bombas são usadas para aumentar a pressão da água e enviá-la pelos canos, enquanto bicos são usados para borrifar a água nas plantas. Este sistema pode efetivamente cobrir grandes áreas com água, mas tem algumas desvantagens, podendo causar perda de água por evaporação e desvio, e pode causar problemas de erosão do solo devido à força da água que sai dos bicos. Além disso, pode não ser eficaz no fornecimento de água diretamente às raízes da planta, ocasionando, eventualmente, problemas de mofo e fungos devido ao excesso de umidade nas folhas da planta de certas culturas como videiras, tomateiros e morangos. Por essas razões, é importante usar esse sistema de forma consciente e eficiente, ajustando a pressão e a frequência da água, além de usar técnicas de manutenção adequadas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021) e (ANDRADE; BRITO, 2006).

Figura 2 – Irrigação por Aspersão



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021)

A irrigação por carretel é um sistema de irrigação que consiste em um carretel (rolo) com mangueira e cabeçote de aspersão que é movimentado sobre o campo cultivado manualmente ou por meio de um motor, como visto na Figura 3. O sistema é conhecido como "carretel móvel" ou "irrigação de tambor". É um tipo de irrigação por aspersão, mas é considerada mais precisa e eficiente que a irrigação por aspersão tradicional, pois direciona a água para a base das plantas sem desperdício por evaporação ou deriva. Além disso, o movimento constante do carretel ajuda a evitar a erosão do solo, distribuindo a água uniformemente. Outra vantagem do sistema é a sua flexibilidade, pois pode ser utilizado em áreas de diferentes formatos e tamanhos e pode ser facilmente ajustado para atender às necessidades específicas de cada cultura. Por outro lado, requer trabalho manual constante e é mais caro para instalar e manter. Além disso, devido à limitação da área cultivada, não

é recomendado o uso em áreas com terrenos acidentados ou grandes declives (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021)

Figura 3 – Irrigação por Carretel



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021)

A irrigação por gotejamento é um método eficiente e preciso de fornecer água e nutrientes às plantas. Consiste na utilização de tubos com pequenos furos (gotejadores) que liberam a água diretamente no solo, próximo às raízes das plantas, processo demonstrado na Figura 4. Esse método aumenta a eficiência do uso da água, pois evita a perda de água por evaporação e infiltração, além de permitir que a fertilização seja aplicada de forma precisa e controlada. Além disso, pode ser utilizado em grandes áreas agrícolas como em pequenos jardins. Esse sistema também é bom para o meio ambiente, pois reduz o uso e o desperdício de água, reduzindo assim a erosão do solo e a poluição das águas superficiais. No entanto, é importante lembrar que a irrigação por gotejamento requer manutenção regular, incluindo a limpeza das pontas de gotejamento e a verificação de vazamentos. Além disso, é necessário um planejamento cuidadoso para garantir que a quantidade de água e nutrientes fornecida seja suficiente para as necessidades das plantas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021) e (ANDRADE; BRITO, 2006).

A irrigação por inundação é um método de irrigação no qual a água é liberada em terras cultivadas e espalhada por toda a área, cobrindo completamente o solo e as plantas, apresentado na Figura 5. Este método tem sido usado há milhares de anos e é uma das mais antigas formas conhecidas de irrigação. Amplamente utilizado em áreas planas e de solo arenoso e bem drenado. Existem duas formas principais de irrigação por inundação: através de canais abertos e através de sistemas fechados. A irrigação por canal aberto é realizada usando trincheiras para transportar água de rios ou lagos para terras cultivadas.

Figura 4 – Irrigação por Gotejamento



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021)

A irrigação em sistemas fechados é feita por meio de canais subterrâneos ou cobertos que levam a água da fonte até a terra cultivada. Esse sistema tem vários benefícios, incluindo: Permitir o cultivo em solo pobre, promover o controle de ervas daninhas, pode aumentar o crescimento das plantas, pode ser empregado para controlar pragas e doenças. No entanto, também existem desvantagens, como: Pode levar a problemas de drenagem, pode levar à erosão do solo, podendo gerar problemas de salinidade do solo, além de exigir uma quantidade elevada de água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021)

Figura 5 – Irrigação por Inundação



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021)

A irrigação por microaspersão é muito similar ao sistema de irrigação aspersão convencional, com a diferença é que enquanto a aspersão convencional os bicos ou jatos de água projetam grandes quantidades de água no ar, criando uma nuvem de gotas de água que caem sobre as plantas, a microaspersão utiliza bicos e orifícios que projetam pequenas gotas de água, com tamanho que variam cerca de 50 a 300 micrômetros, ou seja, a principal diferença é na granularidade da água projetada e conseqüentemente na precisão da distribuição, conforme Figura 6. A microaspersão é geralmente utilizada em pequenas

áreas de cultivo, como horticultura, fruticultura, floricultura e jardinagem.

Esse sistema tem como vantagens a eficiência do uso da água, pois é possível controlar a quantidade de água aplicada e minimizar a evaporação, maior precisão na distribuição de fertilizantes, isso é possível porque os fertilizantes podem ser combinados com água, menor chance de erosão do solo, pois a água é aplicada de forma suave e controlada, além de ser adequado para áreas com declives ou terrenos acidentados. No entanto, possui algumas desvantagens, é mais caro do que outros métodos de irrigação devido ao custo de equipamentos e instalações, pode exigir manutenção frequente para manter a eficiência dos sistemas, e é mais difícil de operar e requer instrução do operador (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021)

Figura 6 – Irrigação por Microaspersão



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021)

A irrigação por pivô central é um sistema de irrigação em que a água é distribuída por meio de um pivô central, que é um equipamento composto por uma torre central e braços articulados que se estendem ao redor da área a ser irrigada, vide Figura 7. Esse sistema utiliza água pressurizada para mover o pivô e distribuir a água para as plantas. A vantagem desse sistema é a sua eficiência, pois permite a irrigação de grandes áreas de forma precisa e uniforme, além de poupar tempo e esforço para o agricultor. Ele também pode ser controlado remotamente, o que facilita a operação. Além disso, a irrigação por pivô central é ideal para áreas com solo arenoso ou com baixa capacidade de retenção de água, pois permite ajustar a quantidade de água aplicada e evitar o desperdício. No entanto, algumas desvantagens podem ser observadas, o sistema é relativamente caro de instalar e manter, e requer uma fonte de água pressurizada e uma energia elétrica constante para funcionar. Além de não ser adequado para áreas com muitas árvores ou outros obstáculos, pois os braços do pivô podem se chocar contra eles (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021) e (ANDRADE; BRITO, 2006).

A irrigação por sulcos é um sistema de irrigação em que a água é distribuída por meio de sulcos abertos no solo. Composto por uma série de sulcos paralelos que são abertos no solo plano, geralmente com uma profundidade de 20 a 30 cm e uma largura de 30 a 40 cm, método ilustrado na Figura 8. A água é canalizada através desses sulcos, permitindo

Figura 7 – Irrigação por Pivô Central



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021)

que ela seja distribuída de forma uniforme e precisa. A vantagem desse sistema é que ele é fácil de instalar e manter, e não requer muita energia ou equipamentos caros. Além disso, ele é adequado para áreas com solo arenoso ou com baixa capacidade de retenção de água, pois permite ajustar a quantidade de água aplicada e evitar o desperdício. No entanto, esse sistema requer mais esforço manual para operar, pois é necessário abrir e fechar os sulcos manualmente. Além de não ser adequado para áreas com muitas árvores ou outros obstáculos, pois os sulcos podem se chocar contra eles (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021)

Figura 8 – Irrigação por Sulcos



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021)

O uso de água na irrigação é fundamental para o sucesso da agricultura e é essencial para garantir o crescimento das plantas e a produção de alimentos. A água é usada para fornecer umidade e nutrientes às raízes das plantas, permitindo que elas cresçam e produzam frutos. Porém, o uso excessivo ou inadequado de água na irrigação pode causar problemas ambientais e econômicos. A água é um recurso escasso e valioso, e seu uso ineficiente pode levar ao desperdício e à escassez. Além disso, a água da irrigação pode conter resíduos químicos e outros contaminantes, o que pode afetar a qualidade dos

alimentos e a saúde humana.

Para evitar esses problemas, é importante utilizar técnicas de irrigação eficientes e sustentáveis. Isso inclui o uso de sistemas de irrigação precisos, que permitem controlar a quantidade de água aplicada e evitar o desperdício. Além disso, é importante monitorar a qualidade da água da irrigação e garantir que ela seja livre de contaminantes.

Em resumo, o uso de água na irrigação é essencial para a agricultura, mas é importante garantir que seja feito de forma eficiente e sustentável, para preservar esse recurso escasso e garantir a qualidade e segurança dos alimentos. Por essas razões a escolha do sistema de irrigação se torna tão importante (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021)

O uso de IoT (Internet das coisas) na irrigação é uma tendência crescente que permite monitorar e controlar sistemas de irrigação de forma remota e automatizada. Isso é possível graças ao uso de sensores e dispositivos conectados à internet que por meio da coleta e transmissão de dados em tempo real sobre as condições do solo, da água e do clima.

O IoT possibilita uma melhor gestão e otimização dos sistemas de irrigação, pois permite ajustar a quantidade de água aplicada de acordo com as condições do solo e do clima. Isso pode ajudar a evitar o desperdício de água e aumentar a eficiência da irrigação. Além disso, pode ser usado para automatizar a operação dos sistemas de irrigação, reduzindo o esforço manual.

Os sensores conectados são usados para medir a umidade do solo, o nível de água no rio ou lago ou reservatório, dentre outros parâmetros e enviar essas informações para os dispositivos de controle remoto, gerando uma tomada de decisão mais precisa e ágil. O uso de IoT também permite o monitoramento remoto do sistema de irrigação, facilitando a detecção de problemas e permitindo uma resposta rápida para corrigi-los. No entanto, é importante lembrar que o uso de IoT na irrigação requer investimento em equipamentos e tecnologias, além de treinamento para garantir seu uso correto.

2.2 Microcontroladores e Arduino

Figura 9 – Microcontrolador 8048



Fonte: Penido e Trindade (2013)

Os microcontroladores são componentes essenciais em uma ampla variedade de dispositivos eletrônicos, desde eletrodomésticos e automóveis até sistemas de automação industrial. Eles desempenham um papel fundamental no controle e monitoramento de sistemas, permitindo a execução de tarefas complexas com eficiência. Um dos microcontroladores mais populares atualmente é o Arduino, que ganhou destaque por sua simplicidade e acessibilidade para entusiastas e profissionais.

Os microcontroladores têm sua origem na década de 1970, quando a Intel introduziu o microcontrolador 8048, conforme Figura 9. Esse chip revolucionário combinava uma CPU, memória, periféricos de entrada/saída e interfaces de comunicação em um único circuito integrado. Antes disso, o controle e a automação de sistemas eram realizados por meio de circuitos discretos complexos, que exigiam muitos componentes individuais.

Com a introdução dos microcontroladores, foi possível consolidar todas as funcionalidades em um único chip, tornando os sistemas de controle mais compactos, eficientes e acessíveis. Os microcontroladores permitiram o desenvolvimento de uma nova geração de dispositivos eletrônicos, desde eletrodomésticos até sistemas automotivos e industriais.

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto que ganhou destaque nas últimas duas décadas. Sua origem remonta ao início dos anos 2000, quando um grupo de pesquisadores do Instituto de Design de Interatividade de Ivrea, na Itália, desenvolveu o Arduino como uma ferramenta acessível para estudantes e entusiastas de eletrônica e programação.

A proposta principal do Arduino era gerar uma plataforma simplificada, com hardware e software de fácil utilização, que permitisse a criação de projetos eletrônicos de maneira intuitiva. O Arduino foi projetado para ser acessível tanto para iniciantes sem experiência prévia quanto para profissionais que desejavam prototipar rapidamente suas ideias.

Uma das principais vantagens do Arduino é sua facilidade de uso. Ele possui uma linguagem de programação baseada em C/C++, que é relativamente simples de aprender e compreender. Além disso, o Arduino possui uma comunidade ativa e colaborativa, com muitos recursos disponíveis, como bibliotecas e exemplos de código, que facilitam o desenvolvimento de projetos.

Outro benefício do Arduino é a sua versatilidade. Ele é compatível com uma ampla variedade de sensores, módulos e periféricos, permitindo a criação de projetos interativos e conectados. Além disso, o Arduino oferece diferentes modelos de placas com especificações técnicas variadas, para atender às necessidades específicas de cada projeto.

O uso do Arduino abrange diversas áreas, incluindo automação residencial, robótica, arte interativa, Internet das Coisas (IoT) e diversas outras áreas (ELECTRONICS, 2023a), (ELECTRONICS, 2023b) e (PENIDO; TRINDADE, 2013).

2.3 Energia Solar

Figura 10 – Painel Fotovoltaico



Fonte: NeoSolar (2023b)

A energia solar é uma forma renovável e abundante de energia que é obtida a partir da luz e do calor do sol. Ela é considerada uma das principais soluções para enfrentar os desafios da mudança climática e da transição para uma matriz energética mais sustentável. A principal vantagem da energia solar é a sua disponibilidade. O sol emite uma quantidade imensa de energia todos os dias, e essa energia pode ser aproveitada por meio de painéis solares (vide Figura 10), que convertem a luz solar em eletricidade ou calor.

No caso da energia solar fotovoltaica, os painéis solares captam a luz do sol e a convertem diretamente em eletricidade. Essa eletricidade pode ser usada para alimentar sistemas eletrônicos, residências, empresas, indústrias e até mesmo comunidades inteiras. A energia solar fotovoltaica é uma solução cada vez mais acessível, com custos de instalação em declínio e tecnologia em constante aprimoramento.

O uso de painéis solares em sistemas de irrigação tem se mostrado uma solução sustentável e eficiente para fornecer energia aos sistemas de bombeamento de água. Os painéis solares captam a energia solar e a convertem em eletricidade, que é utilizada para alimentar as bombas de água nos sistemas de irrigação.

Uma das principais vantagens do uso de painéis solares nesse contexto é a sua independência em relação à rede elétrica convencional. Isso significa que os sistemas de irrigação podem ser instalados em áreas remotas ou rurais, onde a eletrificação é limitada, sem a necessidade de conexões de energia externa.

Além disso, o uso de energia solar reduz significativamente os custos operacionais dos sistemas de irrigação. A energia solar é uma fonte renovável e gratuita, o que diminui os gastos com eletricidade ao longo do tempo. Os painéis solares também exigem pouca manutenção e têm uma vida útil média de 25 anos, o que contribui para a redução dos custos a longo prazo.

Outra vantagem é a sustentabilidade ambiental. O uso de energia solar não gera emissões de gases de efeito estufa nem poluentes atmosféricos, ajudando a preservar o meio ambiente e a reduzir o impacto das atividades agrícolas.

Os sistemas de irrigação com painéis solares são especialmente adequados para áreas onde a demanda de água é relativamente baixa ou moderada. Eles podem ser utilizados em hortas domésticas, jardins comunitários, pequenas propriedades agrícolas ou mesmo em projetos de irrigação em áreas rurais (NEOSOLAR, 2023b).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Para a revisão bibliográfica foram explorados sistemas desenvolvidos por pesquisadores e empresas relacionando a irrigação na agricultura utilizando sistemas microcontrolados e sistemas de irrigação utilizando energia solar. Os trabalhos são descritos a seguir.

3.1 Microcontroladores e Irrigação

O trabalho de (AITA, 2017) teve como objetivo desenvolver um protótipo de sistema de irrigação localizada e automatizada, com controle de umidade de solo e verificação de pH. Foram realizadas etapas de verificação dos componentes, desenvolvimento do hardware e constituição do software. O software foi dividido em programação do microcontrolador e criação de um Webservice para acesso às informações em tempo real. A leitura dos sensores de umidade e pH foi mapeada e transmitida para a rede, permitindo o monitoramento remoto da irrigação.

A microirrigação localizada e automatizada mostrou-se uma opção eficiente para o cultivo em áreas com recursos hídricos escassos. Os benefícios desse sistema incluem maior rendimento da cultura, aumento da longevidade da área de pantio, melhoria na qualidade do produto e redução de riscos. O trabalho contribuiu para a compreensão dos desafios e oportunidades relacionados à automação da irrigação localizada. Possíveis melhorias incluem o uso de equipamentos mais precisos para medição do pH e aprimoramentos na integração do sistema com a rede. Este trabalho utilizou o microcontrolador ESP32 NodeMCU, sensor de umidade do solo (higrômetro), sensor de pH analógico, amplificador de instrumentação CI INA128, resistor, módulo de relé, válvula com solenoide, bomba de água, servo motor (microservomotor SG90), componentes eletrônicos diversos (cabos, conectores, etc.).

O trabalho de (GIOMO, 2019) teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema automático de irrigação por gotejamento, de baixo custo, monitorado por um dispositivo de comunicação móvel. O sistema gerenciou a irrigação, mantendo a umidade do solo adequada. Para isso ele utilizou o microcontrolador Raspberry Pi, sensores de umidade de solo e uma válvula solenoide. O sistema coletou e armazenou dados permitindo que os agricultores visualizem as informações por meio de um aplicativo. O custo do projeto apresentado na tese foi de R\$ 290,81. Este trabalho utilizou a raspberry pi, sensores de umidade de solo CS12, conversor analógico-digital MCP3008, gotejador 8 litros/hora, válvula solenoide 12V, relé SRD-05VDC-SL-C, caixa plástica, mangueira para irrigação e smartphone.

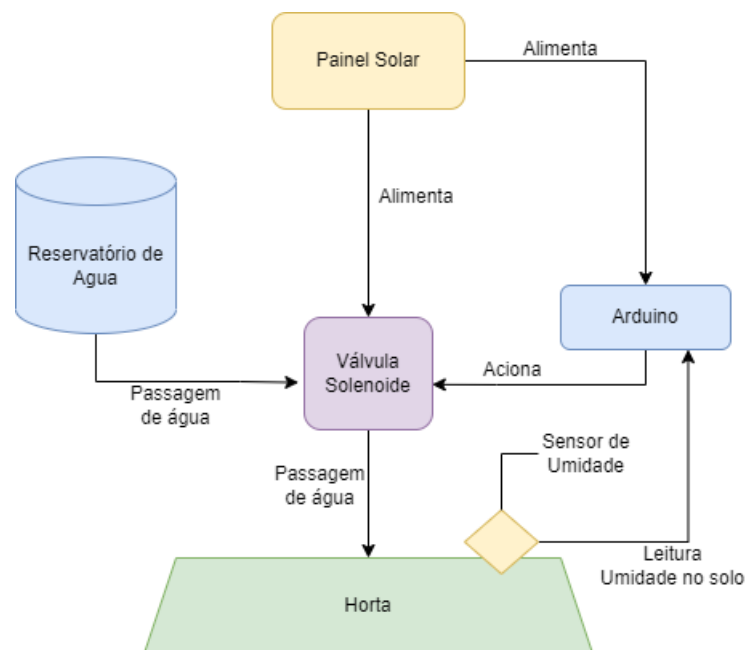
3.2 Sistema alimentado por painel solar

O trabalho de (MICHELS *et al.*, 2009) teve como objetivo avaliar um sistema de bombeamento de água acionado por painéis fotovoltaicos instalados nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Medianeira – PR. O sistema trabalhou em situação real de funcionamento, bombeando água à altura de 20 metros. Coletaram os dados de fevereiro a novembro de 2005 por meio de um coletor de dados computadorizado, que possibilitou a leitura e armazenamento dos dados de irradiância solar, tensão e corrente gerada, temperatura e vazão. Para este trabalho foi utilizado uma bomba da SolarJack, modelo SDS-D-228, tensão de 30V; um medidor de vazão da LAO, tipo turbina, classe 0,1; um transdutor de vazão aferido com pressão; um micrologger da Campbell Scientific-INC, modelo CD23X; um termopar do tipo K (cromo/alumínio) aferido para a aquisição de dados; um piranômetro Kipp & Zonen CR23; um divisor de tensão; e uma resistência Schunt. Apesar de instalarem 10 painéis fotovoltaicos, somente dois foram utilizados. A conclusão deste trabalho foi que em situação real de funcionamento apresentou uma eficiência máxima de 9,58% no solstício de inverno e valor mínimo de 8,57% no solstício de verão, considerando apenas os dias com céu limpo para a conclusão. Os dados deixam evidente que a temperatura influencia negativamente em sistemas fotovoltaicos.

4 PROPOSTA DE TRABALHO

A proposta deste trabalho foi desenvolver um sistema de irrigação automático alimentado por painel fotovoltaico. O sistema desenvolvido é coordenado por um microcontrolador (Arduino), que por meio de sensores de umidade do solo irá monitorar a umidade do solo e acionará o sistema de irrigação por meio de uma válvula solenoide que pela técnica de gotejamento irá irrigar o solo. O sistema será alimentado painéis fotovoltaicos que deverá alimentar tanto o Arduino como acionar a válvula solenoide. O fluxograma da Figura 11 ilustra o processo.

Figura 11 – Diagrama Projeto Proposto



Fonte: Elaborada pelo autor

4.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, projetada para tornar a criação de dispositivos interativos e projetos eletrônicos acessível a entusiastas, estudantes e profissionais. Criado em 2005, o Arduino se tornou uma das ferramentas mais populares no mundo da eletrônica DIY (*Do It Yourself*) e do movimento *maker*.

Em sua essência, o Arduino é composto por duas partes principais: o hardware e o software. O hardware consiste em uma placa com um microcontrolador, que é o cérebro do sistema, e uma variedade de pinos de entrada/saída que permitem a conexão de sensores, atuadores e outros componentes eletrônicos, além de possuir um programador integrado do microcontrolador que facilita seu uso. Existem diversos modelos de placas Arduino,

cada um com suas especificações e recursos, mas todos compartilham a capacidade de serem programados para realizar tarefas específicas.

O software do Arduino é uma IDE (*Integrated Development Environment* - Ambiente Integrado de Desenvolvimento) que fornece uma linguagem de programação simplificada baseada em C/C++, tornando mais fácil para os iniciantes desenvolverem seus projetos. O código é escrito na IDE, enviado para a placa Arduino e executado pelo microcontrolador.

O funcionamento do Arduino é baseado em ciclos. Após a programação e a alimentação da placa, o microcontrolador executa o código repetidamente em loop até ser desligado. Dentro desse loop, o Arduino pode ler sinais dos sensores conectados, processar esses dados e acionar os atuadores de acordo com as instruções do programa. Essa capacidade de interação com o mundo físico é o que torna o Arduino tão versátil e empolgante.

Por ser de código aberto, a comunidade do Arduino é ativa e colaborativa. Isso significa que há uma infinidade de projetos, tutoriais e bibliotecas disponíveis para os usuários, facilitando o aprendizado e aprimoramento das habilidades de eletrônica e programação (ARDUINO, 2023) e (SOUZA, 2023).

4.2 Válvula Solenoide 12 V

A válvula solenoide é um dispositivo eletromecânico utilizado para controlar o fluxo de fluídos, como água, ar, óleo ou gases, em sistemas automatizados. Ela é amplamente empregada em diversas aplicações industriais, automotivas e residenciais devido à sua confiabilidade, eficiência e facilidade de controle.

Essa válvula é composta por uma bobina e um êmbolo (ou pistão) móvel. A bobina é geralmente feita de fios condutores enrolados em torno de um núcleo de ferro, e quando uma corrente elétrica de 12 volts é aplicada à bobina, ela cria um campo magnético. Esse campo magnético atrai o êmbolo móvel, que é geralmente construído com um material ferromagnético, como aço.

Quando o êmbolo é atraído pela bobina, ele se move dentro de um tubo ou orifício na válvula, abrindo ou fechando o fluxo do fluído, dependendo do projeto da válvula, em nosso caso abrindo o fluxo. A posição do êmbolo é controlada pela quantidade de corrente elétrica fornecida à bobina. Se a corrente for desligada ou reduzida, o campo magnético diminui e a mola interna da válvula pode retornar o êmbolo à sua posição original, interrompendo ou permitindo o fluxo do fluído novamente, em nosso caso interrompendo.

O funcionamento da válvula solenoide é rápido e preciso, permitindo controlar o fluxo do fluido de maneira instantânea, com tempos de resposta mais curtos. Essa característica torna a válvula solenoide útil em sistemas que requerem controle de fluxo rápido e confiável.

As aplicações da válvula solenoide de 12 volts são diversas, incluindo sistema de

irrigação automatizados, sistemas de controle de fluidos em indústrias, sistemas de ar comprimido em veículos automotores, máquinas industriais e até mesmo eletrodomésticos, como máquina de lavar e cafeteiras automáticas (PANIN, 2023).

4.3 Sensor de umidade do solo capacitivo

O sensor de umidade do solo capacitivo é um dispositivo que mede a umidade do solo com base nas mudanças na capacitância do sensor. Similar a um capacitor, o sensor é composto por dois eletrodos, geralmente feitos de material condutivo e colocados em uma configuração onde há um espaço vazio entre eles. O solo atua como um dielétrico, que é um material isolante que separa os dois eletrodos. A umidade do solo afeta as propriedades dielétricas do solo. Quando o solo está seco, as propriedades dielétricas são diferentes em comparação quando o solo está úmido. Isso resulta em uma mudança na capacitância entre os eletrodos. Quando o solo está úmido, o dielétrico é mais eficaz em armazenar uma carga elétrica, o que aumenta a capacitância. Quando o solo está seco, a capacitância diminui.

O sensor é projetado para se comunicar com um microcontrolador, como o Arduino, por meio de um circuito simples. O Arduino atua como uma plataforma de prototipagem eletrônica, que processa os dados recebidos do sensor e os converte em leituras compreensivas de umidade de solo. Essas leituras são geralmente expressas em percentual, indicando a proporção de água presente no solo em relação à sua capacidade máxima de retenção de água.

Com base nas informações fornecidas pelo sensor de umidade de solo capacitivo, é possível definir níveis ideais de irrigação para as plantas em um projeto de agricultura ou jardinagem automatizado. Isso permite que os sistemas de irrigação sejam acionados automaticamente quando a umidade do solo estiver abaixo de um determinado limite, garantindo que as plantas recebam a quantidade adequada de água no momento certo (GUIMARAES, 2019) e (CASTRO, 2023).

4.4 Painel Solar ou Fotovoltaico

O painel solar, também conhecido como painel fotovoltaico, é um dispositivo que converte a luz solar em energia elétrica por meio do princípio fotovoltaico. É uma tecnologia crucial para a geração de energia limpa e renovável.

O funcionamento do painel solar é baseado nas células fotovoltaicas presentes na sua superfície. Essas células são geralmente feitas de silício, um material semicondutor. Quando a luz do sol incide sobre as células fotovoltaicas, os fótons da luz energizam os elétrons no material, permitindo que elas se movam e criem uma corrente elétrica.

Cada painel solar é composto por várias células fotovoltaicas conectadas em série ou em paralelo ou em ambos, aumentando assim a quantidade de eletricidade gerada. A

corrente elétrica gerada pelos painéis solares é inicialmente do tipo corrente contínua (CC).

Para utilizar essa energia, é necessário converter a corrente contínua em corrente alternada (CA) para que seja compatível com rede elétrica convencional. Esse processo é realizado pelo dispositivo chamado inversor solar.

os painéis solares são uma opção sustentável e ecologicamente correta para a geração de energia, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e contribuindo para preservação do meio ambiente. Sua aplicação abrange desde pequenos sistemas residenciais até grandes usinas solares, tornando-se uma parte essencial da transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável (NEOSOLAR, 2023a) e (NEOSOLAR, 2023b).

4.5 Relé

O relé é um dispositivo eletromecânico que funciona como um interruptor controlado eletricamente. Sua função é permitir o controle de circuitos de alta potência utilizando sinais de baixa potência. É amplamente utilizada em diversas aplicações, desde sistemas industriais até aparelhos eletrônicos comuns.

O funcionamento básico de um relé é simples. Ele é composto por uma bobina e um conjunto de contatos elétricos. Quando uma corrente passa pela bobina do relé, ela cria um campo magnético que atrai os contatos, fazendo que eles se fechem ou se abram, dependendo do tipo de relé.

Existe dois tipos principais de relé, o relé normalmente aberto (NA) e o relé normalmente fechado (NF). No relé NA, os contatos estão abertos quando não há corrente passando pela bobina, e se fecham quando a corrente é aplicada. Já no relé NF, os contatos estão fechados em condição de repouso e se abrem quando a corrente é aplicada.

Além dos relés eletromecânicos, existem também relés no estado sólido, que utilizam dispositivos semicondutores para realizar a comutação dos contatos. Esses relés possuem vantagens em relação aos eletromecânicos, com maior vida útil, menor tempo de resposta e ausência de partes móveis (MATTEDE, 2023).

4.6 Protoboard

A protoboard ou matriz de contatos é uma placa de circuito impresso que permite montar e testar protótipos de circuito eletrônicos de forma rápida e temporária. É uma ferramenta essencial no mundo da eletrônica e é amplamente utilizada por estudantes, entusiastas e profissionais para criar e experimentar com diferentes circuitos sem necessidade de soldagem ou fabricação de placas de circuito.

A protoboard é composta por uma série de furos metálicos interligados por trilhas condutoras. Esses furos permitem que os componentes eletrônicos, como resistores, capaci-

tores, LEDs e microcontroladores, sejam inseridos e conectados entre si por meio de fios ou jumpers. Esses fios são encaixados nos furos da protoboard, estabelecendo conexões elétricas temporárias entre os componentes.

O funcionamento da protoboard é bastante simples. Os componentes eletrônicos são inseridos em posição estratégica da matriz de contatos, seguindo o esquema de circuito desejado. Os fios ou jumpers são usados para interligar os componentes de acordo com o projeto em questão.

É importante mencionar que, embora que a protoboard seja uma ferramenta útil para prototipagem e experimentação, ela não é adequada para projetos finais ou de longo prazo. Por não oferecer uma conexão permanente e confiável entre os componentes, pode haver problemas de conexão ou interferência nos sinais elétricos em projetos mais complexos (IPELAB, 2023).

4.7 Custo do Projeto

Este trabalho foi projetado para ser baixo custo, sendo assim é importante ressaltar o custo médio necessário para o desenvolvimento do sistema, para este protótipo escolhemos o método de irrigação por gotejamento.

Para o cálculo do custo médio, consultamos todos os componentes no site do mercado livre. (LIVRE, 2023)

Tabela 1 – Tabela de Custo dos Componentes Utilizados

Item	Preço (R\$)
Arduino Uno R3	37,80
Válvula Solenoide 12v	29,00
Sensor de Umidade Capacitivo	11,00
Painel Fotovoltáico 12v	34,99
Relé	9,00
Protoboard	11,40
LED	10,30
Mangueira de Entrada de Lavadora	7,39
Mangueira 3/4 Transparente	11,54
Bico de torneira 3/4	8,00

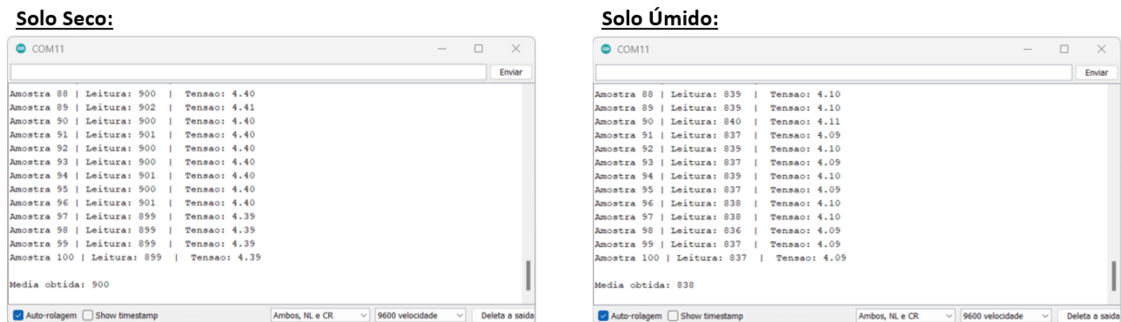
Fonte: Elaborada pelo autor.

5 IMPLEMENTAÇÃO

Para a implementação do projeto, os elementos foram gradualmente incorporados e testados. A inclusão dos componentes ocorreu na seguinte ordem: sensor de umidade do solo, válvula solenoide e painel solar. Iniciando pela adição do sensor de umidade ao projeto, foi utilizado o Monitor Serial, ferramenta integrada à IDE (Integrated Development Environment) do Arduino.

Inicialmente foi realizada a calibração do sensor, para isso foram utilizados dois vasos com terra, um com a terra seca e outro com a terra úmida. Foram medidas 100 amostras do sensor e calculadas a média, conforme Figura 12.

Figura 12 – Resultado da Calibração – Monitor Serial



Fonte: Elaborada pelo autor

Os resultados obtidos estão demonstrados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultado da Calibração do Sensor de Umidade de Solo

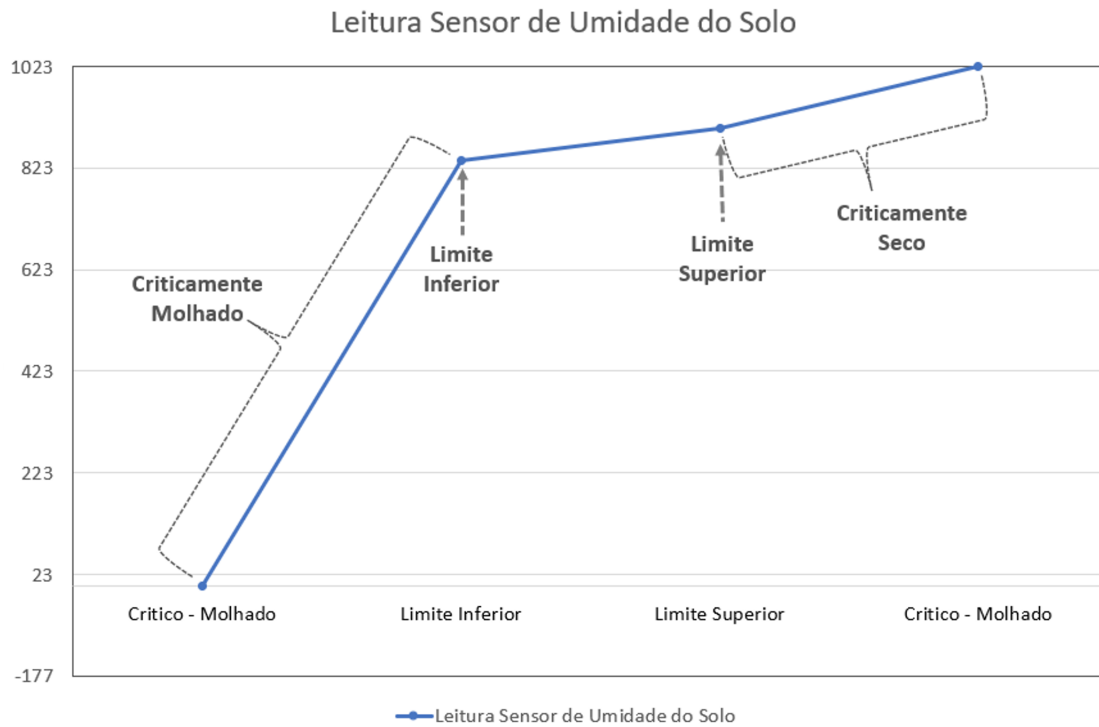
Condição do solo	Leitura (média) do sensor
Solo seco	900
Solo úmido	838

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir do resultado da calibração do sensor de umidade do solo, foi possível estabelecer os limites de leitura do sensor. Esses limites, foram usados para calcular o percentual de umidade que foram utilizados para o acionamento da irrigação.

As representações gráficas das Figuras 13 e 14 mostram os limites das leituras correspondentes ao solo molhado e ao solo seco, respectivamente. Através da definição dos limites superior e inferior, foi possível realizar o mapeamento do percentual de umidade do solo. Nesse mapeamento, foi atribuído o valor de 100% à leitura de 838 e o valor de

Figura 13 – Gráfico Calibração do Sensor de Umidade



Fonte: Elaborada pelo autor

0% à leitura de 900. Isso proporcionou uma maior precisão na visualização das variações no percentual de umidade no solo, o que resulta em um acionamento mais preciso da irrigação.

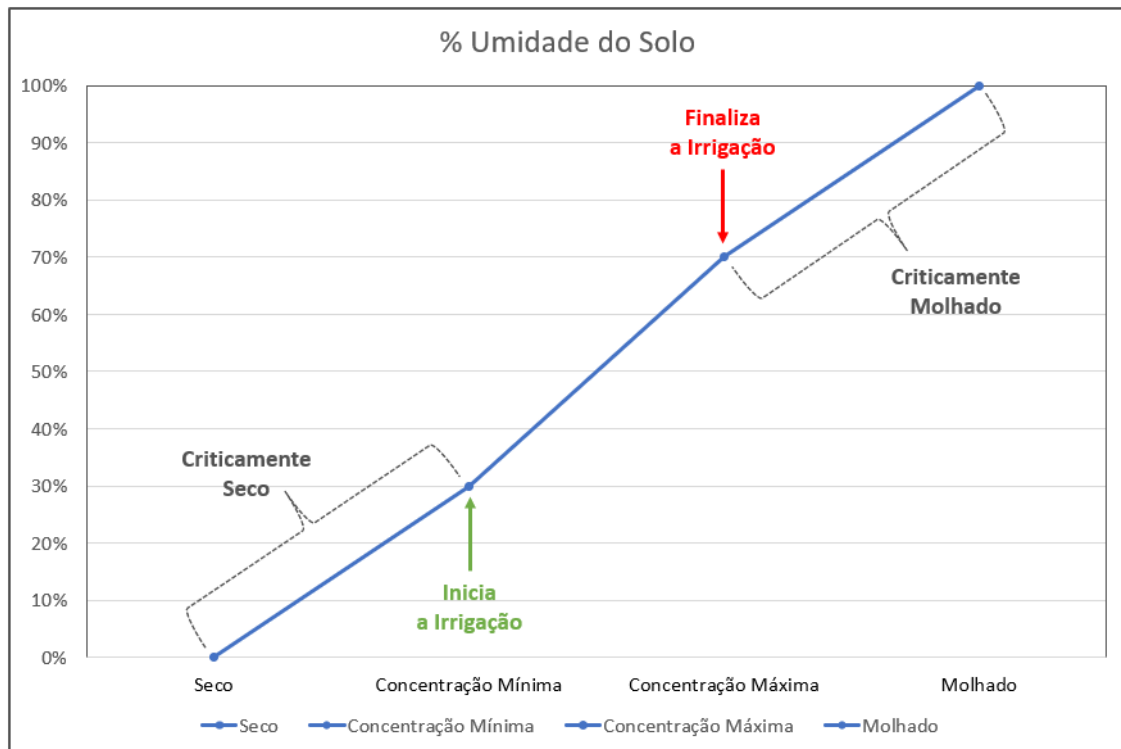
Após a incorporação do sensor de umidade do solo, a próxima etapa consistiu em adicionar três LEDs para sinalizar os estágios de acionamento. Nesse sentido, o LED vermelho era acionado quando a leitura do sensor ultrapassasse o limite superior, o LED amarelo indicando quando a leitura estivesse abaixo do limite inferior, e o LED verde era ativado sempre que a válvula solenoide estivesse ligada.

Na faixa de variação das leituras obtidas durante a calibração do sensor, foi realizado o mapeamento do percentual de umidade e procedeu-se à parametrização do sistema. Isso permitiu programar o sistema para que a irrigação fosse ativada quando a umidade estivesse abaixo de 30% e fosse desativa quando ultrapassasse 70% de umidade.

Na Figura 15, pode-se observar que, no teste com solo seco, foram ativados dois LEDs. O LED amarelo indica que a umidade está abaixo de 30%, enquanto o LED verde indica que a irrigação está em funcionamento. Já na segunda imagem, correspondente ao teste com solo úmido, apenas o LED vermelho está aceso, indicando que a umidade está acima de 70% de umidade.

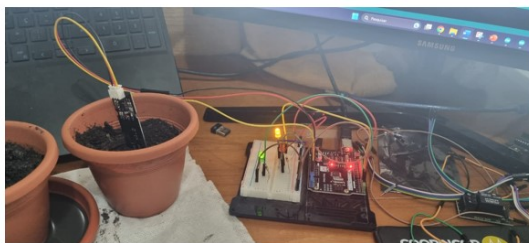
Neste ponto, o acionamento do LED verde operou corretamente sempre que a

Figura 14 – Gráfico demonstrativo do acionamento da irrigação

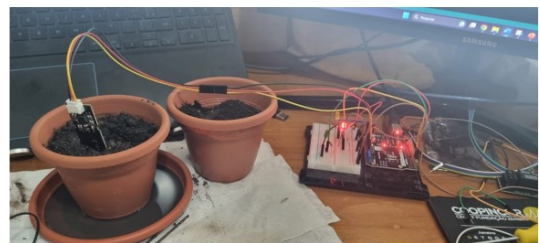


Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 15 – Teste LED com Solo Seco e Úmido



Solo Seco



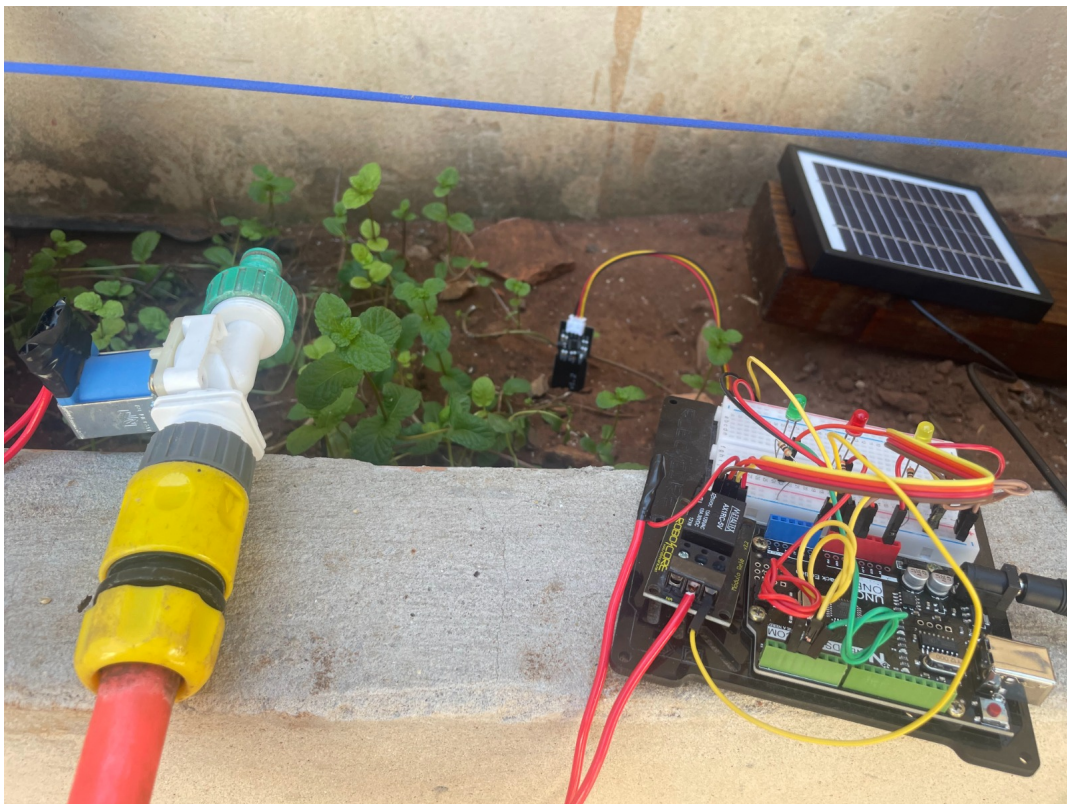
Solo Úmido

Fonte: Elaborada pelo autor

válvula requeresse ativação. Para continuar, empregou-se a mesma saída do ponto digital que controla o LED verde a fim de acionar o relé. O relé gerencia a alimentação da válvula, assegurando que ela só será ativada mediante o acionamento do relé. Tal configuração foi estabelecida na montagem da conexão entre o relé e a válvula, com a alimentação da válvula conectada à saída NA (Normalmente Aberto) do relé. Nesse arranjo, quando o relé está desenergizado, o contato NA permanece aberto, interrompendo o fluxo de corrente. Porém, quando o relé é energizado, o contato NA fecha, permitindo a passagem da corrente. Consequentemente, ao conectar a saída do LED verde ao relé, o acionamento do LED verde resultou na energização do relé, ativando assim a válvula.

Ao constatar que que o sistema de irrigação opera adequadamente ativando a irrigação quando o solo se torna seco, foram incorporados painéis solares como fonte de energia, conforme pode ser visualizado na Figura 16. Foram utilizados dois painéis solares: um para alimentar o Arduino e outro para alimentar a válvula solenoide.

Figura 16 – Sistema completo incorporado em uma horta doméstica



Fonte: Elaborada pelo autor

6 CONCLUSÃO

O sistema autônomo de irrigação de baixo custo demonstrou desempenho satisfatório em sua operação. Foi projetado para monitorar continuamente a umidade do solo e, quando necessário, acionar o processo de irrigação ao detectar que o solo está seco. Adicionalmente, o sistema foi configurado para interromper a irrigação assim que a umidade do solo atingisse um nível predefinido. Esse conjunto de funcionalidades possibilitou a administração eficiente da irrigação, contribuindo para a manutenção das condições ideais do solo.

Destaca-se a versatilidade desse sistema, que se estende a uma variedade de métodos de irrigação amplamente utilizado na agricultura moderna. Seja o método de irrigação por aspersão convencional, microaspersão ou gotejamento, o sistema pode ser facilmente adaptado para atender às necessidades específicas de cada abordagem. Isso demonstra sua aplicabilidade em diversas situações e a capacidade de melhorar a eficiência hídrica em diferentes contextos agrícolas.

A posição estratégica do sensor de umidade do solo e a calibração inicial são fatores críticos que influenciam diretamente no desempenho do sistema. A escolha da localização do sensor requer planejamento cuidadoso para garantir que esteja em contato direto com o solo representativo e seja capaz de capturar as condições reais da área de cultivo. Além disso, a calibração inicial é um passo para estabelecer uma base precisa para a operação do sistema, garantindo que os valores de referência sejam corretamente interpretados e a irrigação seja ajustada de acordo com as características específicas do solo.

Em resumo, o resultado foi satisfatório haja visto que o sistema operou conforme o esperado e seu desenvolvimento é possível com o orçamento aproximado de 170 reais.

7 TRABALHOS FUTUROS

No contexto de desenvolvimento futuros para o projeto, foram identificados diversos aspectos passíveis de aprimoramento.

Um desses aspectos abrange o armazenamento dos dados de acionamento e leitura. A coleta desses dados será direcionada a possibilitar que os usuários acompanhem, por meio de uma solução web ou aplicativo, os padrões de acionamento, bem como monitorar o consumo de água, a quantidade de acionamentos realizados, o tempo médio de irrigação e outros indicadores relevantes.

Outra perspectiva de melhoria compreende a integração de baterias ao sistema. Essa adição objetiva conferir maior autonomia ao sistema, permitindo que, além de alimentar o sistema, os painéis solares também desempenham a função de carregar as baterias. Essas baterias, por sua vez, assegurarão a continuidade das operações do sistema, inclusive quando os painéis solares não dispuserem de luminosidade suficiente para alimentar o sistema.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação: Uso de Água na Agricultura Irrigada**. 2. ed. [S.l.: s.n.], 2021.
- AITA, R. H. **Sistema de irrigação localizada e automatizada**. Porto Alegre: Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia, 2017.
- ANDRADE, C. d. L. T. d.; BRITO, R. A. L. **Circular Técnica 86: Métodos de Irrigação e Quimigação**. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006.
- ARDUINO. **Arduino UNO**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- CASTRO, G. de. **Leitura da Umidade do Solo**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://www.robocore.net/tutoriais/leitura-umidade-solo>. Acesso em: 20 mai. 2023.
- ELECTRONICS, M. **A História do Arduino Parte 1: Apresentando o Arduino**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://embarcados.com.br/a-historia-do-arduino-parte-1-apresentando-o-arduino>. Acesso em: 4 jun. 2023.
- ELECTRONICS, M. **A História do Arduino Parte 2: Revolucionando a Eletrônica Embarcada**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://embarcados.com.br/a-historia-do-arduino-parte-2-revolucionando-a-eletronica-embarcada>. Acesso em: 4 jun. 2023.
- GIOMO, D. **Desenvolvimento de um Sistema de Irrigação Automatizado de Baixo Custo**. Cascavel: Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2019.
- GUIMARAES, F. **Sensor de umidade capacitivo para solo**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/sensor-de-umidade-capacitivo-para-solo>. Acesso em: 1 jun. 2023.
- IPELAB. **Protoboard: o que é e como usar**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://ipelab.ufg.br/n/156373-protoboard-o-que-e-e-como-usar>. Acesso em: 7 jun. 2023.
- LIVRE, M. **Mercado Livre**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Circular Técnica 98: Seleção do Sistema de Irrigação para Hortaliças**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 1998.
- MATTEDE, H. **O que é relé? Como funciona um relé?** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-rele-como-funciona-um-rele>. Acesso em: 2 jun. 2023.
- MICHELS, R. N. *et al.* **Avaliação do bombeamento de água em um sistema alimentado por painéis fotovoltaicos**. Medianeira: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009.

NEOSOLAR. **O que é Energia Solar: Tudo Sobre.** [*S.l.: s.n.*], 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar>. Acesso em: 6 jun. 2023.

NEOSOLAR. **Painel Solar Fotovoltáico.** [*S.l.: s.n.*], 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/painel-solar-fotovoltaiico>. Acesso em: 31 mai. 2023.

PADILHA, J. **Garapa.** Brasil: Downtown Filmes, 2009.

PANIN, L. K. **Válvula Solenoide: O que é? Como funciona?** [*S.l.: s.n.*], 2023. Disponível em: <http://www.tecniar.com.br/noticias/valvula-solenoide-o-que-e-como-funciona>. Acesso em: 29 mai. 2023.

PENIDO, E. d. C. C.; TRINDADE, R. S. **Microcontroladores.** Ouro Preto: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2013.

SOUZA, F. **Arduino UNO.** [*S.l.: s.n.*], 2023. Disponível em: <https://embarcados.com.br/arduino-uno>. Acesso em: 2 jun. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CÓDIGO ARDUINO PARA A CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE UMIDADE

Listing A.1 – Código Arduino para a calibração do sensor de umidade

```
1 // Incluindo a biblioteca do sensor HD-38
2 #include <Arduino.h>
3
4 // Pino analogico onde o sensor HD-38 esta conectado
5 const int PINO_SENSOR = A0;
6
7 // Declaracao da variavel que armazena a leitura do sensor
8 int leitura_sensor = 0;
9
10 // Declaracao da variavel que armazena a quantidade de
11 // amostras que serao coletadas
12 const int NUMERO_AMOSTRAS = 100;
13
14 //Declaracao da variavel que armazena a soma das leituras
15 long somatoria = 0;
16
17 void setup() {
18
19     // Inicializa a comunicacao serial
20     // com taxa de transmissao de 9600 bps
21     Serial.begin(9600);
22
23     //Define o pino concetado ao sensor como uma entrada do
24     // sistema
25     pinMode(PINO_SENSOR, INPUT);
26
27     // Realiza a leitura do sensor de acordo com a variavel
28     // NUMERO_AMOSTRAS
29     for(int i = 1; i <= NUMERO_AMOSTRAS; i++){
30         // leitura do sensor
31         leitura_sensor = analogRead(PINO_SENSOR);
32         somatoria = somatoria + leitura_sensor;
33
34         float tensao = leitura_sensor*(5.0/1023);
```

```
35     Serial.print("Amostra_");
36     Serial.print(i);
37     Serial.print("|");
38     Serial.print("Leitura:");
39     Serial.print(leitura_sensor);
40     Serial.print("|");
41     Serial.print("Tensao:");
42     Serial.println(tensao);
43     delay(1000);
44 }
45
46 //Calcula a media das leituras utilizando a variavel "somatoria"
47 // e a variavel "NUMERO_AMOSTRAS"
48 int media = somatoria / NUMERO_AMOSTRAS;
49 Serial.println("");
50 Serial.print("Media_ obtida:");
51 Serial.println(media);
52 }
53
54 void loop() {
55 }
```

APÊNDICE B – CÓDIGO SISTEMA AUTOMÁTICO DE IRRIGAÇÃO

Listing B.1 – Código Sistema automático de irrigação

```

1 // Incluindo a biblioteca do sensor HD-38
2 #include <Arduino.h>
3
4 // Pino analogico onde o sensor HD-38 esta conectado
5 const int PINO_SENSOR = A0;
6
7 // Pinos para os LEDs
8 const int PINO_LED_MOLHADO = 2; // LED Vermelho
9 const int PINO_LED_SECO = 3; // LED Amarelo
10 const int PINO_RELE = 4; // LED Verde
11
12 // Configura o limite superior e inferior de acionamento
13 const float LIMITE_INFERIOR = 838;
14 const float LIMITE_SUPERIOR = 900;
15
16 // Declaracao da variavel que vai receber a leitura do sensor
17 float leitura_sensor = 0.0;
18
19 // Declara da variavel que armazena a concentracao minima
20 // e maxima desejada
21 const int CONCENTRACAO_MINIMA = 30;
22 const int CONCENTRACAO_MAXIMA = 70;
23
24
25 void setup() {
26     // Inicializa a comunicacao serial com taxa de transmissao
27     // de 9600 bps
28     Serial.begin(9600);
29
30     // Configura os pinos dos LEDs como saidas
31     pinMode(PINO_LED_MOLHADO, OUTPUT);
32     pinMode(PINO_LED_SECO, OUTPUT);
33     pinMode(PINO_RELE, OUTPUT);
34 }
35

```

```
36 void loop() {
37
38     // Faz a leitura analogica do sensor HD-38
39     int leitura_sensor = analogRead(PINO_SENSOR);
40
41     // Faz uma conversao para porcentagem dentro do range de calibracao
42     float perc_umidade = map(leitura_sensor,
43     LIMITE_INFERIOR, LIMITE_SUPERIOR, 100, 0);
44
45     // Exibe os dados no monitor serial
46     Serial.print("Leitura_Sensor:");
47     Serial.print(leitura_sensor);
48     Serial.print(" | Percentual de Umidade:");
49     Serial.print(perc_umidade);
50     Serial.println("%");
51
52     // Controle dos LEDs
53     if(perc_umidade < CONCENTRACAO_MINIMA){
54         digitalWrite(PINO_LED_SECO, HIGH);
55         digitalWrite(PINO_LED_MOLHADO, LOW);
56         digitalWrite(PINO_RELE, HIGH);
57     } else if(perc_umidade > CONCENTRACAO_MAXIMA){
58         digitalWrite(PINO_LED_SECO, LOW);
59         digitalWrite(PINO_LED_MOLHADO, HIGH);
60         digitalWrite(PINO_RELE, LOW);
61     }else{
62         digitalWrite(PINO_LED_SECO, LOW);
63         digitalWrite(PINO_LED_MOLHADO, LOW);
64     }
65
66     // Aguarda por um curto periodo antes da proxima leitura
67     delay(1000);
68 }
```