



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

VINNÍCIUS OKUSHIRO AYRES

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Ilha Solteira
2024**

VINNÍCIUS OKUSHIRO AYRES

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de engenheiro mecânico.

Orientador: Dr Márcio Antonio Bazani

Ilha Solteira
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A985s Ayres, Vinnícius Okushiro.
Sistema de irrigação automatizado de baixo custo / Vinnícius Okushiro
Ayres. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
48 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Márcio Antonio Bazani

Inclui bibliografia

1. Sistema de irrigação automatizado. 2. Automatizado. 3. Arduino.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

TÍTULO: SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO

ALUNO: Vinnícius Okushiro Ayres RA: 162054696

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antônio Bazani

Aprovado (X) Reprovado () pela Comissão Examinadora

Nota obtida: 9,0

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO ANTONIO BAZANI**
Data: 19/12/2024 09:12:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcio Antônio Bazani

Documento assinado digitalmente
 **LETICIA KAROLAYNE MOREIRA FIRMO**
Data: 19/12/2024 08:16:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Letícia Karolayne Moreira Firmo

Documento assinado digitalmente
 **CARLINEIA MARCIANA DOS SANTOS PEREIRA**
Data: 18/12/2024 23:18:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Carlineia Marciana Dos Santos Pereira

Documento assinado digitalmente
 **VINNICIUS OKUSHIRO AYRES**
Data: 18/12/2024 19:13:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Aluno

Ilha Solteira (SP) 18 de Dezembro de 2024.

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me apoiou e tornou possível toda minha trajetória acadêmica.

Agradecimentos

Agradeço especialmente a minha avó e aos meus pais que me acompanharam e apoiaram incondicionalmente durante minha jornada e tornaram possível todo caminho para minhas conquistas.

A minha irmã, por sempre me ouvir, incentivar e ajudar nos momentos difíceis.

Aos amigos da equipe de república e do movimento empresa júnior, por seu companheirismo, amizade, paciência e ensinamentos.

Ao meu Professor Orientador, por seu incentivo e paciência nesse trabalho.

Resumo

O presente trabalho apresenta como objetivo a construção de uma simulação de automação de irrigação com sistema de controle de malha fechada, visando ter um projeto sustentável de baixo custo e funcional. O projeto simulado vai auxiliar no manejo da irrigação facilitando o cotidiano nas produções agrícolas domésticas, através do uso de microcontroladores. O princípio de funcionamento do protótipo é baseado na aquisição de informações por meio de higrômetro e fotosensor para determinação da umidade do solo e da luminosidade visando o manejo da irrigação e da luminosidade de maneira automática. Os valores de leitura dos sensores foram interpretados pelo Arduino IDE, o qual foi programado para o acionamento de uma bomba de água e de uma fonte luz artificial. O resultado da simulação foi satisfatória, apresentando um bom funcionamento do sistema, podendo ser usados em automação de sistemas de irrigação. A partir das informações fornecidas pelo equipamento e dos preços dos componentes utilizados no mercado, considera-se viável a sua utilização para o manejo de irrigação de forma eficiente, com baixo custo e sustentável.

Palavras-chave: Irrigação automatizada. Arduino IDE.

Abstract

The objective of this work is the construction of an instability automation simulation with a closed-loop control system, aimed at a sustainable, low-cost and functional project. The simulated project will help in the management of agriculture, facilitating the daily life of domestic agricultural production, through the use of a microcontroller.

The principle of operation of the prototype is based on the acquisition of information by means of a photosensor and hygrometer to determine soil moisture and luminosity varies the management of supervision and luminosity automatically. The sensor reading values were interpreted by the Arduino IDE, or which was programmed to drive a water pump and an artificial light source. The result of the simulation was satisfactory, presenting a good functioning of the system, being able to be used in automation of security systems.

Based on the information provided by the equipment and the prices of the components used on the market, it is considered feasible to use it for managing safety in an efficient, low-cost and sustainable way.

Keywords: Automated irrigation. Arduino IDE.

Lista de figuras

Figura 1 – Arduino Uno R3	18
Figura 2 – Célula Solar	19
Figura 3 – Higrômetro de resistência elétrica	20
Figura 4 – Relé SPDT	21
Figura 5 – Photoresistor	22
Figura 6 – Fluxograma de metodologia	24
Figura 7 – Conexão placa solar	26
Figura 8 – Conexão do fotoresistor	27
Figura 9 – Conexão do Sensor de Umidade	28
Figura 10 – Conexão dos Relés	29
Figura 11 – Conexão dos LEDs	29
Figura 12 – Conexão dos Atuadores	30
Figura 13 – Sistema de irrigação completo	31
Figura 14 – Sistema de controle	32
Figura 15 – Relação entre valores de leitura e Umidade	34
Figura 16 – Umidade ao longo do tempo	35
Figura 17 – Higrômetro ao final do experimento	36

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparativo entre culturas irrigadas e não irrigadas	13
Tabela 2 – Lista de componentes utilizados no projeto	24
Tabela 3 – Consumo de energia pelos componentes do sistema	33
Tabela 4 – Estimativa de preços para desenvolvimento do projeto	38

Sumário

1	Introdução	11
2	Objetivo	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	Revisão da Literatura	13
3.1	Irrigação	13
3.2	Energia	14
3.2.1	Energia Solar	15
3.3	Sistemas de controle	16
3.3.1	Sistemas de controle de malha aberta	16
3.3.2	Sistemas de controle de malha fechada	17
3.4	Arduino Uno	17
3.5	Célula Solar	18
3.6	Higrômetro	19
3.7	Relé	20
3.8	Photoresistor	21
4	Materiais e Métodos	23
4.1	Montagem do sistema de controle de irrigação	23
4.2	Calibragem do sensor de umidade	24
4.3	Processo de captação dos dados	25
4.4	Conexões do sistema	25
4.5	Desenvolvimento do software	31
4.5.1	Imagem do sistema	32
5	Resultados	33
5.1	Dimensionamento da Bateria	33
5.2	Dimensionamento da célula solar	33
5.3	Calibração do higrômetro	34
5.4	Umidade do solo	34
5.5	Limitações do sistema e proposta para futuras soluções	36
6	Discussão	38
6.1	Sustentabilidade do projeto	38
6.2	Viabilidade Prática	38
6.3	Custos	38

7	Conclusão	40
	Referências	42
	APÊNDICES	44

1 Introdução

A crescente conscientização da utilização dos recursos naturais de forma sustentável, aliados a uma procura por facilitadores de nosso cotidiano, impulsionam o desenvolvimento de sistemas de automação doméstica cada vez mais sofisticados. Um dos desafios encontrados pelas famílias modernas é a manutenção de um espaço verde, sustentável e bem cuidado, uma vez que tal façanha demanda energia, organização e tempo. Nesse contexto o sistema de irrigação automatizada e de baixo custo se apresenta como uma solução viável para tal demanda (Barbosa, 2013).

Do ponto de vista econômico, este sistema é viável devido ao baixo custo dos componentes utilizados, que são acessíveis e amplamente encontrados no mercado. Ademais, o controle preciso da irrigação evita desperdícios de água e energia, maximizando a sustentabilidade e a eficiência do sistema (Souza, 2001).

Sob a perspectiva social, o projeto contribui para a segurança alimentar ao possibilitar produções mais resilientes frente às variações climáticas e ao uso inadequado de recursos naturais. Pequenos agricultores podem se beneficiar diretamente da automação, ganhando tempo para se dedicar a outras atividades produtivas. Além disso, a proposta de tornar o projeto acessível online, de forma gratuita e didática, democratiza o acesso a tecnologias sustentáveis, promovendo a inclusão tecnológica (Barbosa, 2013).

Neste trabalho é explorado uma maneira para a automação da irrigação doméstica, considerando os custos envolvidos, a viabilidade prática e a sustentabilidade. É demonstrada a forma de funcionamento dos componentes envolvidos, conexões e integrações dos sensores e softwares necessários. O objetivo é evidenciar a aplicabilidade do projeto além de demonstrar que sistemas de controle já são uma realidade acessível tanto em termos de custo quanto de implementação nas residências.

Em última análise pretende-se disponibilizar o projeto de forma online, gratuita e de fácil interpretação, para que assim mesmo pessoas que não trabalhem nas áreas das tecnologias consigam replicá-lo de forma fácil e com embasamento teórico.

Entretanto, durante o desenvolvimento do projeto, alguns desafios foram identificados. Um dos principais foi a durabilidade do sensor de umidade utilizado. Por ser suscetível à oxidação, sua vida útil pode ser reduzida em condições de umidade elevada. Além disso, observou-se que as medições de umidade podem variar ao reposicionar o sensor, devido à heterogeneidade do solo e à sensibilidade do dispositivo. Esses aspectos ressaltam a importância de um posicionamento adequado do sensor e de uma calibração cuidadosa para garantir leituras consistentes e confiáveis.

2 Objetivo

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho visa divulgar para a sociedade uma solução simples, sustentável e de baixo custo para a automatização de um sistema de irrigação voltado a produções agrícolas domésticas, utilizando a tecnologia Arduino. A proposta foi divulgada por meio de simulações computacionais, explicações detalhadas sobre a montagem do projeto e experimentação práticas, os quais demonstram o funcionamento do sistema de irrigação.

2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar e selecionar os componentes necessários para a montagem do sistema de irrigação automatizado
- b) Projetar e implementar um software que permita a automação do sistema com base nas leituras de sensores de umidade e luminosidade.
- c) Validar o funcionamento do sistema através de simulações e experimentos.
- d) Avaliar os custos e a viabilidade do projeto.
- e) Disponibilizar o projeto e documentação de forma acessível, para que outros interessados possam replicá-lo facilmente.

3 Revisão da Literatura

3.1 Irrigação

Na irrigação tradicional, existem grandes desperdícios hídricos, gerados por uma carência de controle na irrigação. Esse é um dos problemas de maior impacto na produção agrícola, os quais vêm sendo escalados pelo crescimento do agronegócio. Apesar disso, a irrigação ainda é realizada de forma inadequada, gerando um grande desperdício de água. Cerca de 50% da água captada para fins da irrigação é desperdiçada. Já nos sistemas de irrigação por superfície, as perdas podem ultrapassar os 75%. (Amaral, 2017)

Um sistema controlado de irrigação apresenta diversos benefícios em produções de pequena e larga escala, dependendo do formato utilizado e das especificidades do cultivo em questão. Alguns dos benefícios apresentados são o aumento de produtividade, soluções em períodos de seca, eficiência hídrica, automação, controle de forma remota e gestão dos dados de cultivo.

A irrigação é uma técnica que garante aos produtores uma safra uniforme, independente da ocorrência de chuvas. Desse modo, diminui o risco dos grandes investimentos. O preparo da terra, os investimentos em máquinas, as sementes, herbicidas, inseticidas e adubos são todos muito caros para que o agricultor se arrisque a perder sua produção por falta de chuvas (Barbosa, 2013).

Uma análise comparativa entre culturas irrigadas e não irrigadas evidencia os benefícios quantitativos desse tipo de sistema. Conforme apresentado por Barbosa (2013), as diferenças na produtividade são expressivas, conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1 – Comparativo entre culturas irrigadas e não irrigadas

Cultura	Não irrigado Kg / ha	Irigado Kg/ ha	Incremento
Algodão	848	2700	218%
Arroz	1739	3750	115%
Feijão	388	2300	492%
Milho	1985	5500	177%
Soja	1844	3000	62%
Trigo	1668	3400	104%

(José Wilian Barbosa, 2013)

O controle da distribuição de água por meio da irrigação automatizada ajuda a manter um equilíbrio ideal na umidade do solo e constitui uma ferramenta importante para o controle da aplicação de água. Garante-se, assim, uma maior eficiência hídrica, assegurando a

sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. (Souza, 2001)

A automação de processos tem sido, neste século, uma tecnologia de profunda repercussão. Sua importância provém não só de substituir o trabalho humano em tarefas monótonas e/ou cansativas, mas também, e principalmente, do fato de permitir uma sensível melhoria na qualidade dos processos, com pequena elevação no custo dos equipamentos. (Souza, 2001)

Para além disso, destaca-se também a vantagem no monitoramento histórico do cultivo. Utilizando um sistema automatizado, é possível captar e armazenar dados históricos, tornando viável uma análise mais eficiente da performance da cultura em questão e dos fatores que motivaram esse resultado. Além disso, por meio dos dados adquiridos, é possível prever possíveis variações futuras, antecipando-se a eventualidades.

3.2 Energia

Energia é definida como a capacidade de realizar trabalho ou provocar mudanças em um sistema. A energia pode se manifestar de diferentes formas, seja na energia muscular utilizada no movimento de nossos corpos, ou na energia usada no maquinário de uma indústria. (Hoppe, 2009)

Pode-se classificar a energia primária em dois grupos: as energias renováveis e as não renováveis. O primeiro grupo é assim definido, pois está presente no ambiente de forma abundante e inesgotável. Exemplos desse grupo incluem a energia solar, eólica, hidráulica, dentre outras. As energias não renováveis são aquelas geradas a partir de recursos finitos, que podem se esgotar ao longo do tempo. Alguns exemplos dessa classe são a energia gerada a partir do petróleo, carvão mineral e materiais radioativos. (Bertoli, 2012)

Outra classificação possível para as fontes de energia é: energia arcaica, moderna e alternativa. O primeiro grupo é assim denominado porque já é utilizado pela humanidade desde a antiguidade, como o fogo e a energia animal. O segundo grupo começou a ser utilizado mais recentemente, com exemplos como o carvão mineral e o petróleo. O terceiro grupo é assim denominado porque surgiu recentemente como uma alternativa de substituição para as fontes de energia moderna, com exemplos como a energia eólica e solar. (Hoppe, 2009)

Retomando a classificação de energias renováveis, vale destacar a viabilidade e visibilidade que essas têm atualmente. A razão disso é, principalmente, sua disponibilidade abundante e o menor impacto que causam ao ambiente durante o processo de extração.

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10.0 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica,

etc.)(CRESESB, 2018)

Dentro das energias renováveis, pode-se fazer a distinção entre aquelas que são permanentemente disponíveis, como a solar e a eólica, e aquelas que podem ser manejadas pela humanidade conforme a necessidade. Um exemplo do segundo grupo é a biomassa, obtida por meio da cana-de-açúcar, resíduos animais, dentre outros.

O resultado da conversão da energia primária em calor, força e movimento é chamado de energia secundária ou energia derivada. Essas são processadas em usinas, destilarias e refinarias. Já a energia utilizada pelos consumidores residenciais ou industriais, na cidade ou no campo, é denominada energia final. Alguns exemplos facilmente reconhecidos são a eletricidade, a gasolina e o gás. (Guadagnini, Rio de Janeiro)

3.2.1 Energia Solar

A energia solar é uma possibilidade de matriz energética renovável que não emite gases poluentes, além de contribuir para a redução da dependência de combustíveis fósseis. Esse modelo de captação de energia é uma alternativa mais sustentável, contribuindo para mitigar os impactos ambientais (Berwanger, 2024). Em áreas sem acesso fácil à rede elétrica, esse modelo permite um abastecimento autossuficiente, proporcionando acesso à energia em regiões rurais e remotas.(Nunes; Pinho; Mendes, 2014).

Em seus estudos, Renata Pereira Braga evidencia que sistemas autônomos de irrigação abastecidos por energia solar são economicamente vantajosos para a agricultura familiar, reduzindo a dependência da matriz energética convencional e os custos operacionais. (Braga, 2008). As vantagens em relação ao custo se apresentam devido à baixa necessidade de manutenção e à economia de energia ao longo do tempo, mesmo levando em consideração o custo inicial elevado de implementação. (Souza, 2001). Além disso, o avanço tecnológico acelerado vem permitindo uma redução gradual dos custos dos módulos solares, contribuindo para tornar a energia solar competitiva economicamente a curto prazo, especialmente ao se considerar os custos ambientais e sociais evitados. (Souza, 2001).

Na utilização de fontes fotovoltaicas em sistemas de irrigação, é essencial o uso de baterias acopladas ao sistema. A função prioritária das baterias, em um sistema de geração fotovoltaica, é armazenar a energia produzida durante as horas de luminosidade, viabilizando a utilização desse sistema à noite ou em períodos de baixa incidência solar.(Braga, 2008). Outra função da bateria é a estabilização da corrente e tensão, suprimindo os transitórios que possam ocorrer na geração. Ela também é responsável por prover uma intensidade de corrente superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar. (Braga, 2008).

Outra vantagem particularmente importante desse sistema é o abastecimento de regiões onde a extensão de redes de energia elétrica é impraticável ou economicamente inviável. Nesses casos, a energia solar permite uma autonomia energética para a região, eliminando a dependência de uma infraestrutura convencional de distribuição. (Braga, 2008).

Assim, o uso de energia solar em sistemas de irrigação representa uma junção eficaz entre inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental, proporcionando uma solução economicamente viável, sustentável e necessária em casos onde não é possível a implementação de sistemas de distribuição tradicional.

3.3 Sistemas de controle

Os sistemas de controle podem ser classificados em sistemas de malha fechada ou sistemas de malha aberta. Em ambos os casos, o sistema de controle é composto por dispositivos cujo objetivo é garantir que uma determinada ação seja realizada de acordo com parâmetros pré-definidos.

Esses sistemas são compostos por três elementos principais: o controlador, o sinal de entrada/ saída e o atuador. O atuador é o elemento responsável por executar a ação corretiva do sistema. No caso de um sistema de irrigação automatizado, pode ser considerado como atuador a bomba de água, que deve ser acionada quando o solo apresenta déficit hídrico. O sensor de medição é responsável por aferir as variáveis do sistema, como um higrômetro, por exemplo. O controlador, por sua vez, é responsável por receber os dados dos sensores, comparar com os valores de referência e transmitir o comando para o acionamento do atuador. Um exemplo de controlador é o Arduino Uno. (Ogata, 2010).

Exemplos práticos do uso de sistemas de controle na agricultura mostram sua aplicação em diversas situações. Um sistema de malha aberta pode ser utilizado para acionar aspersores de irrigação em horários fixos, independente das condições do solo ou climáticas. Essa abordagem, embora simples, é eficaz em culturas que exigem uma rotina de irrigação previsível e não variável.

Por outro lado, os sistemas de malha fechada permitem um controle muito mais preciso e adaptável. Por exemplo, em cultivos de hortaliças, sensores de umidade do solo podem monitorar continuamente o nível de umidade e acionar a irrigação somente quando necessário, garantindo um uso eficiente da água. Esses sistemas são amplamente usados em estufas automatizadas, onde os sensores também monitoram a temperatura e a umidade do ar para controlar sistemas de ventilação e resfriamento.

3.3.1 Sistemas de controle de malha aberta

Um sistema de controle de malha aberta considera apenas o controle da entrada do sistema, sem analisar as ações corretivas que poderiam ser realizadas conforme o estado do sistema. No sistema de malha aberta, não há um valor de referência para comparar o efeito que se deseja atingir com o estado atual.

Nesse tipo de sistema, determina-se a entrada por meio de um modelo matemático ajustado conforme o propósito do sistema e as metas desejadas. Um exemplo é a escada

rolante, que, independentemente do que esteja acontecendo no ambiente em que está inserida, sempre funcionará com a mesma velocidade e as mesmas características (Ogata, 2010).

A principal limitação de um sistema de malha aberta é a falta de uma resposta ajustada ao que ocorre no meio. Vale ressaltar que a variável principal que deve ser considerada na escolha do tipo de sistema de controle é o objetivo para que ele vai servir. Em diversas aplicações o sistema de controle de malha aberta é suficiente e satisfatório para cumprir o propósito final.

3.3.2 Sistemas de controle de malha fechada

Um sistema de controle de realimentação ou sistema de controle de malha fechada, é caracterizado por monitorar de forma contínua valores referentes ao objeto analisado e comparar esses com os valores de referências pré-determinados. Com base nessa comparação, as ações de controle do sistema são ajustadas para minimizar a diferença entre a saída real e o valor desejado. (Ogata, 2010).

Esse processo comparativo é realizado por meio de sensores que captam os dados. Esses dados são processados e comparados pelo controlador, responsável por enviar o sinal para a ativação do atuador (Ogata, 2010).

Um exemplo de sistema de controle de malha fechada é o controle de temperatura de uma geladeira moderna. Nesse caso, um sensor mede a temperatura atual da geladeira e a compara com o valor de referência definido. Com base nessa comparação, o controlador ajusta a entrada e a saída de calor por meio do acionamento do compressor, mantendo a temperatura próxima ao valor desejado.

3.4 Arduino Uno

O Arduino Uno R3 é uma placa microcontroladora. A placa Arduino Uno R3 é baseada no microcontrolador ATmega328P, da Microchip Technology. Possui 14 pinos de entrada/saída digital, sendo 6 deles utilizáveis como saídas PWM (modulação por largura de pulso) e 6 pinos de entrada analógica. Além disso, conta com uma interface USB para comunicação com um computador, uma porta de alimentação, um oscilador de cristal de 16 MHz e um conector ICSP (In-Circuit Serial Programming) para programação direta do microcontrolador (Arduino, 2024).

Ele é suportado pela plataforma Arduino, que possui uma linguagem de programação baseada em C/C++ simplificada e uma IDE. O Arduino Uno R3 é também altamente expansível, permitindo a conexão de diversos componentes eletrônicos e módulos por meio dos seus pinos de entrada/saída. Isso possibilita a criação de projetos personalizados e a integração com sensores, atuadores, displays e módulos de comunicação (Arduino, 2024).

A Figura 1 abaixo apresenta o layout da placa Arduino Uno R3, destacando suas principais conexões e componentes:

Figura 1 – Arduino UNO R3



Arduino (2024)

3.5 Célula Solar

É denominado célula fotovoltaica um dispositivo capaz de transformar diretamente a energia luminosa em energia elétrica, por meio da produção de tensão sob a incidência de luz (Lima *et al.*, 2019).

O funcionamento de uma célula solar ocorre por meio de dois materiais semicondutores com diferentes propriedades elétricas. A configuração desses dois materiais constitui uma junção p-n, responsável pela geração de energia elétrica quando há incidência de luz (Lima *et al.*, 2019).

A incidência de fótons de luz na camada n transfere energia para o material semicondutor. Essa energia, por sua vez, é absorvida pelos átomos do material, fazendo com que liberem elétrons da camada de valência, gerando pares elétron-lacuna. Devido à diferença de potencial na junção p-n, os elétrons se concentram na camada n e as lacunas na camada

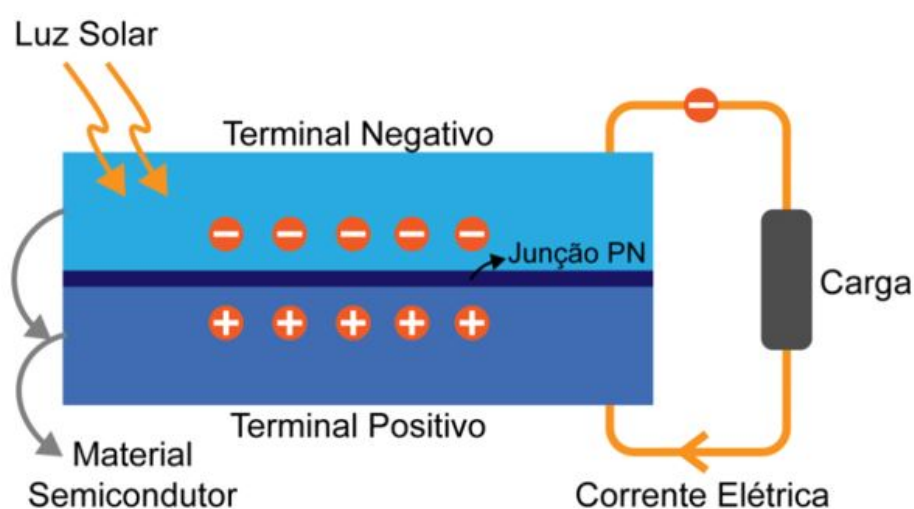
p. Essa separação de elétrons e lacunas cria uma diferença de potencial, gerando uma corrente elétrica (Lima *et al.*, 2019).

O desempenho de uma célula solar, ou seja, sua eficiência em transformar a energia da luz solar em energia elétrica, pode variar de acordo com diversos fatores. Os principais fatores incluem o material semicondutor utilizado, a qualidade da junção p-n, a intensidade da luz solar e a espessura das camadas semicondutoras.

É importante ressaltar que, apesar das características básicas citadas acima, atualmente existem diversos tipos de células fotovoltaicas, como as de silício monocristalino, policristalino, de filme fino e de perovskita. Cada uma possui diferentes características, eficiências e custos, sendo essencial considerar a utilização e as condições a que serão submetidas para obter o melhor custo-benefício em sua aplicação (Lima *et al.*, 2019).

A Figura 2 abaixo apresenta o layout de funcionamento de uma célula solar, destacando suas principais conexões e componentes:

Figura 2 – Layout de funcionamento de uma célula solar



Moraes (2020)

3.6 Higrômetro

É denominado higrômetro o dispositivo capaz de analisar quantitativamente a umidade do meio em que está inserido. Diversos dispositivos realizam essa análise por meio de diferentes formatos de funcionamento. Dentre os modelos utilizados historicamente para esse tipo de medição, destacam-se o higrômetro de cabelo, o higrômetro de resistência elétrica, o higrômetro capacitivo e o higrômetro de condensação (Ehsani, 2007).

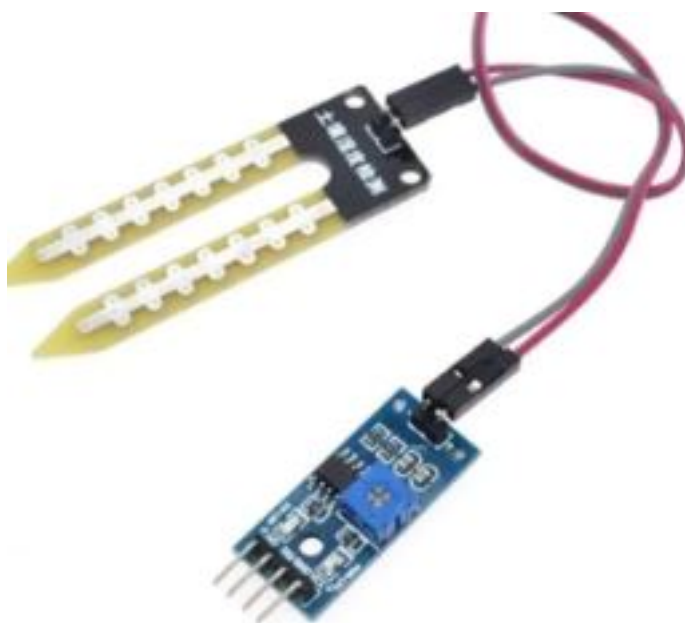
No caso do higrômetro de resistência elétrica, seu princípio de funcionamento ocorre por meio de materiais capazes de absorver umidade e modificar suas propriedades de

resistência elétrica à medida que sua umidade varia. Sendo assim, é possível mensurar quantitativamente a umidade, uma vez que se definem parâmetros de umidade para cada medida de resistência elétrica do material. Logo, à medida que avaliamos a resistência elétrica do material, pode-se obter a umidade correspondente a essa medida (Ehsani, 2007).

O material utilizado nesse tipo de dispositivo é geralmente um polímero ou uma camada fina de sais higroscópicos. A resistência variável é medida por um circuito elétrico, que converte a resistência em um sinal elétrico correspondente ao nível de umidade relativa. (Ehsani, 2007).

A Figura 3 abaixo apresenta um Higrômetro de resistência elétrica, destacando suas principais conexões e componentes:

Figura 3 – Higrômetro de resistência elétrica



Higrômetro de resistência elétrica, 2024

3.7 Relé

Um relé é um dispositivo que atua como um interruptor, permitindo, a partir de comandos do sistema de controle, a passagem ou interrupção de corrente para o atuador. Seu princípio de funcionamento básico ocorre por meio de uma bobina, dois terminais de saída e um terminal de entrada (Silva; Borges, 2015).

O ponto de entrada comum é onde ocorre a entrada da corrente, que, em estado padrão, está conectada ao terminal de saída (NC), tornando o sistema inativo. Quando necessário, o controlador envia uma corrente para a bobina, que fica energizada e é

responsável por alterar a conexão para o terminal de saída (NO), ativando o sistema. É por conta dessa alternância de terminais de saída, realizada pela bobina a partir do sinal do controlador, que o relé é utilizado como interruptor em sistemas de controle (Silva; Borges, 2015).

Uma das grandes vantagens desse dispositivo é o isolamento entre a corrente utilizada no sistema e a corrente de controle que energiza a bobina. Por meio desse sistema, é possível acionar sistemas de alta potência com sinais de baixa potência (Silva; Borges, 2015).

A Figura 4 abaixo apresenta um Relay SPDT:

Figura 4 – Relay SPDT



Relé SPDT, 2024

3.8 Photoresistor

O photoresistor é um dispositivo capaz de quantificar a intensidade luminosa presente em um meio. Seu funcionamento ocorre por meio de materiais semicondutores com propriedades específicas, que fazem com que sua resistência elétrica varie à medida que o dispositivo é exposto à luminosidade (Amaral,).

Inicialmente, é realizada uma calibração, aplicando uma corrente no dispositivo e captando a resistência elétrica correspondente a cada parâmetro de luminosidade. Usando essa curva como referência, é possível, posteriormente, identificar a luminosidade do local,

uma vez que a cada medida de resistência elétrica corresponde uma medida equivalente em luminosidade (Amaral,).

Essa relação entre a luz incidente e a resistência elétrica do material é expressa por meio da equação abaixo:

$$R = R_0 \cdot X + \left(1 + \frac{K \cdot I}{I_0}\right) \quad (1)$$

Onde :

R: Resistência elétrica

R0 : resistência elétrica do fotosensor na ausência de luz

K: Constante que define a sensibilidade do fotosensor a luz

I: Intensidade Luminosa

I0: Constante que representa uma referência a intensidade Luminosa

A Figura 5 abaixo apresenta um fotoresistor:

Figura 5 – Fotoresistor



4 Materiais e Métodos

As metodologias que serão utilizadas no presente trabalho são: pesquisa bibliográfica e metodologia dedutiva. A metodologia dedutiva configura uma modalidade de raciocínio lógico que, por meio da dedução, atinge uma conclusão a partir de uma determinada premissa. Esse tipo de metodologia consiste em demonstrar conclusões necessariamente verdadeiras, por deduções lógicas de premissas verdadeiras, respeitando uma forma lógica válida.

Assim, parte-se de uma premissa maior verdadeira, estabelecendo-se uma relação com uma segunda premissa, menor, para que, a partir do raciocínio lógico, se chegue à conclusão.

Ressalta-se que a pesquisa tem caráter qualitativo e descritivo. Segundo (Menezes; Muszkat, 2005), esse tipo de pesquisa é composto pelo levantamento de informações por meio de artigos, livros e fontes confiáveis, proporcionando uma conclusão comum entre leitores e autores. A importância desse tipo de pesquisa está em apresentar seus estudos, disponibilizando uma imersão nos fatos investigados.

4.1 Montagem do sistema de controle de irrigação

O trabalho em questão foi realizado utilizando uma abordagem teórica, fundamentada em princípios e conceitos científicos. A metodologia adotada baseou-se na construção de um modelo teórico que descreve o sistema, considerando suas propriedades, interações e comportamentos conhecidos.

Para dar suporte à investigação teórica, foi desenvolvida uma simulação computacional. Essa simulação foi projetada para reproduzir, em ambiente controlado, as condições e variáveis relevantes do sistema em estudo. Por meio dela, foi possível observar e analisar o funcionamento do sistema, explorando as implicações teóricas das hipóteses formuladas.

Essa combinação proporcionou percepções valiosas sobre os fenômenos em estudo, contribuindo para o avanço do conhecimento e fornecendo uma base sólida para futuras aplicações práticas. A figura 6 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada:

Figura 6 – Fluxograma da metodologia utilizada



Próprio autor (2024)

Após a fundamentação teórica descrita anteriormente neste trabalho, iniciou-se a seleção dos componentes eletrônicos utilizados na simulação. A lista dos componentes utilizados é encontrado da tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Lista de componentes utilizados no projeto

Componentes
Arduino Uno R3
Relé SPDT
Higrômetro
Bomba de água
Painel solar
Photoresistor
Lâmpada
Bateria
Resistores
Jumpers
LEDs
Protoboard

Proprio autor

4.2 Calibragem do sensor de umidade

O processo de calibragem do sensor de umidade foi realizado para garantir à precisão das medições e a confiabilidade dos dados coletados pelo sistema. Foram realizadas 10 amostras de solo, sendo a primeira totalmente seca e a última com 100% de umidade. Para garantir que o solo estivesse completamente seco, a terra foi deixada em um forno por 4 horas a 105 °C. Após esse procedimento, foram adicionadas quantidades controladas de

água a cada amostra para atingir os níveis desejados de umidade. Por exemplo, para uma amostra de 10% de umidade, foram utilizados 10 gramas de terra seca mais 1 grama de água. Já para uma amostra com 100% de saturação, a proporção foi de 10 gramas de terra seca para 10 gramas de água.

A umidade do solo foi calculada com base na proporção de massa de água adicionada em relação à massa de terra seca. Em cada estágio, o sensor foi utilizado para registrar os valores de umidade, e os resultados foram comparados com os valores teóricos esperados. Esses dados serviram de base para ajustar a equação de calibração do sensor, garantindo maior precisão nas medições subsequentes.

4.3 Processo de captação dos dados

A captação dos dados foi conduzida por meio da interface entre o sensor de umidade do solo e o microcontrolador Arduino Uno R3. Os dados eram lidos periodicamente pelo sensor, que convertia as informações analógicas em sinais digitais. Esses sinais eram processados pelo Arduino e armazenados temporariamente na memória do microcontrolador.

Além disso, foi desenvolvido um script em Python para transferir os dados do Arduino para um computador. Essa comunicação foi realizada via conexão serial, permitindo o registro contínuo das medições em um arquivo de texto (.txt). Esse processo possibilitou a análise posterior dos dados, incluindo a identificação de padrões e a verificação de falhas operacionais no sistema.

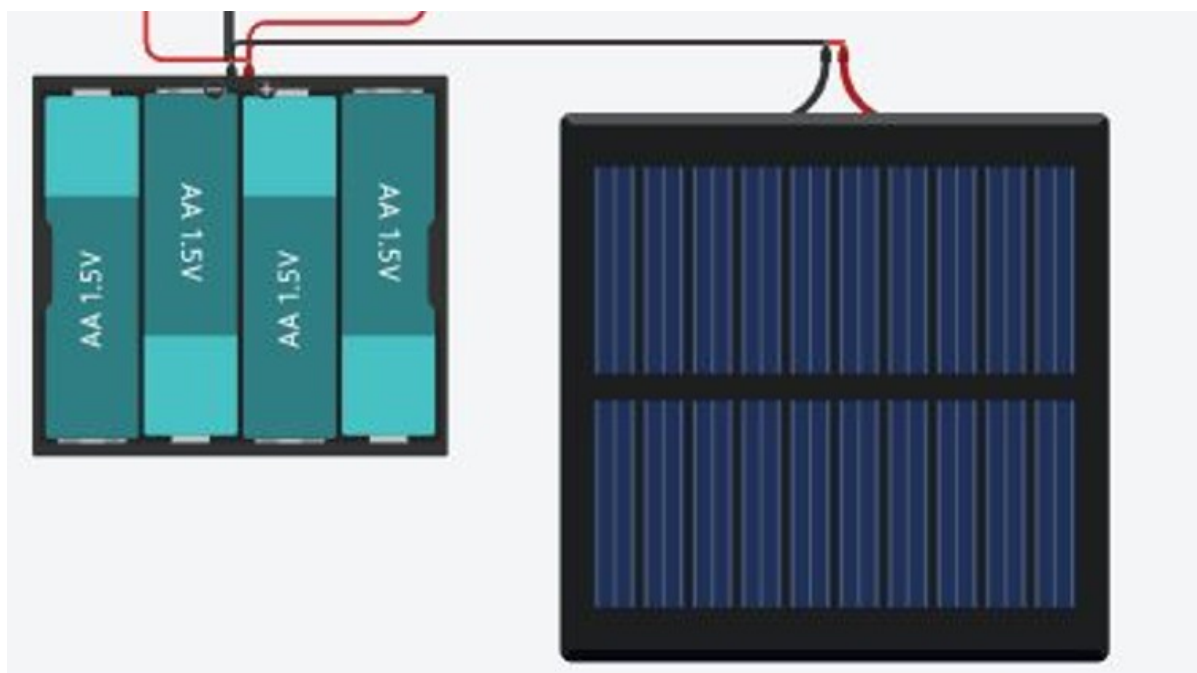
Os dados captados foram então organizados em um banco de dados estruturado, facilitando a análise e a geração de gráficos para interpretar as condições de umidade do solo ao longo do tempo.

4.4 Conexões do sistema

Sistema de alimentação: Na implementação do microcontrolador de irrigação com sistema de malha fechada, empregou-se inicialmente uma célula solar como fonte de alimentação, responsável por carregar a bateria. A bateria, por sua vez, foi utilizada para alimentar a lâmpada e a bomba de água. A conexão da placa solar com a bateria foi feita por meio de fios condutores, conectando a saída positiva da placa solar com o positivo da bateria e o negativo da placa com o negativo da bateria.

A figura 7 mostrada abaixo representa a conexão da placa solar e da bateria:

Figura 7 – Conexão placa solar



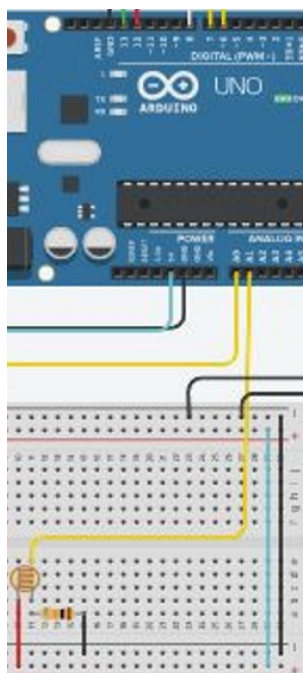
Próprio autor (2024)

Fotoresistor:

Conectou-se o Fotoresistor a entrada analógica A1 do Arduino Uno R3, utilizado como microcontrolador do sistema, com o objetivo de fornecer informações sobre a luminosidade do ambiente. O Fotoresistor realiza essa medição por meio de dois materiais semicondutores cuja resistência varia conforme a luminosidade do ambiente.

A figura 8 mostrada abaixo representa a conexão do fotoresistor e do Arduino :

Figura 8 – Conexão do fotoresistor



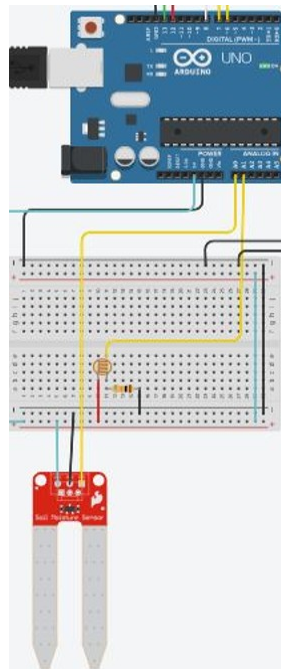
Próprio autor (2024)

Sensor de Umidade do Solo:

Conectou-se o higrômetro a entrada analógica A0 do Arduino Uno, com o objetivo de fornecer informações sobre a umidade do solo ao sistema. O higrômetro realiza essa medição por meio de dois eletrodos que conduzem corrente elétrica entre as partículas do solo, determinando o nível de umidade pela comparação com a resistência elétrica.

A figura 9 mostrada abaixo representa a conexão do sensor de umidade e do Arduino

:

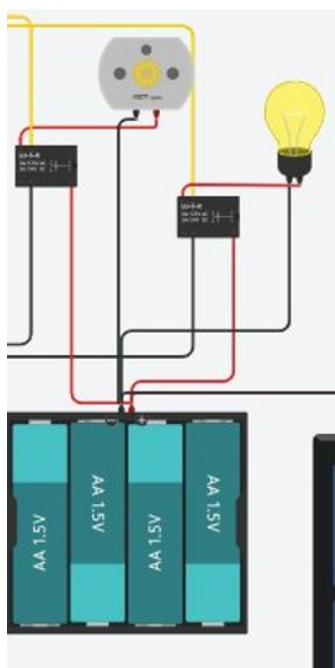
Figura 9 – Conexão do Sensor de Umidade

Próprio autor (2024)

Transistores ou Relés:

Dois, relés foram utilizados para controlar os atuadores do sistema. O primeiro relé, conectado ao pino digital 7, é responsável por acionar a bomba de água, enquanto o segundo, conectado ao pino digital 6, controla a lâmpada artificial. Esses relés funcionam como interruptores.

A figura 10 mostrada abaixo representa a conexão do relés e dos atuadores :

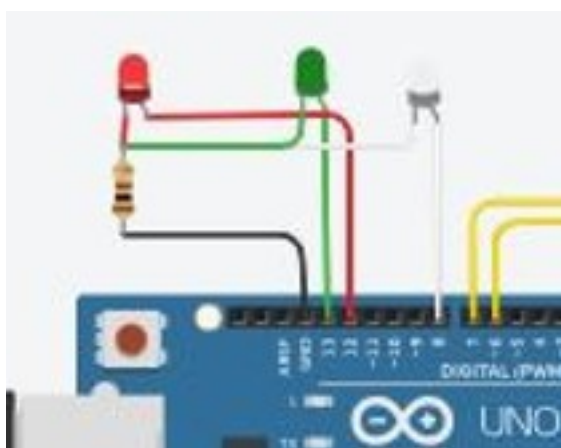
Figura 10 – Conexão dos Relés

Próprio autor (2024)

LEDs Indicadores:

Três LEDs foram conectados aos pinos digitais 12, 13 e 8 para fornecer feedback visual sobre o estado do sistema. O LED verde (pino 13) indica que o solo está adequadamente irrigado, o LED vermelho (pino 12) alerta para condições de solo seco, e o LED branco (pino 8) acende quando a luminosidade do ambiente está insuficiente.

A figura 11 mostrada abaixo representa a conexão dos LEDs e do Arduino :

Figura 11 – Conexão dos LEDs

Próprio autor (2024)

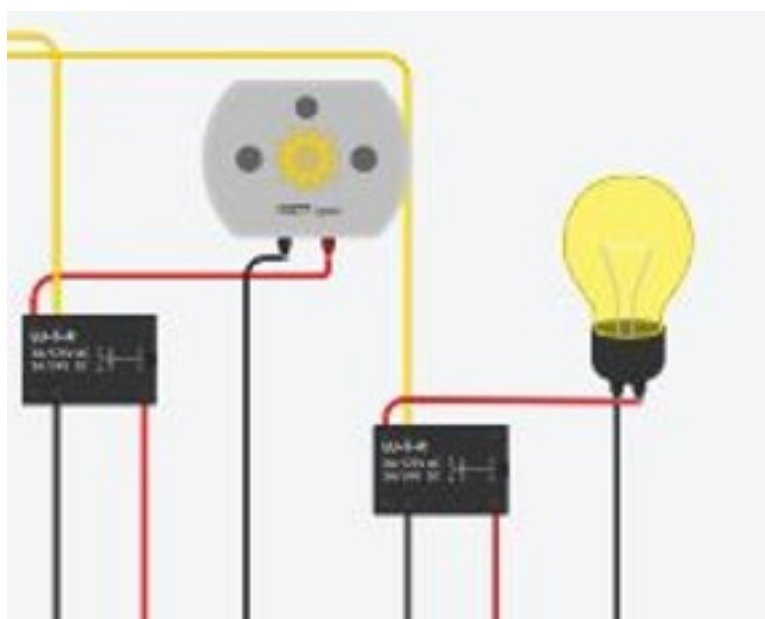
Bomba de Água e lâmpada:

A bomba foi conectada ao relé 1, que controla sua ativação de acordo com os sinais recebidos do Arduino com base nas leituras de umidade do solo. Quando o nível de umidade está abaixo do limite definido, o relé permite que a corrente elétrica flua para a bomba, acionando-a.

Similar à bomba, a lâmpada foi conectada ao relé 2, acionada quando a leitura do photoresistor indica baixa luminosidade.

A figura 12 mostrada abaixo representa a conexão dos Atuadores :

Figura 12 – Conexão dos Atuadores



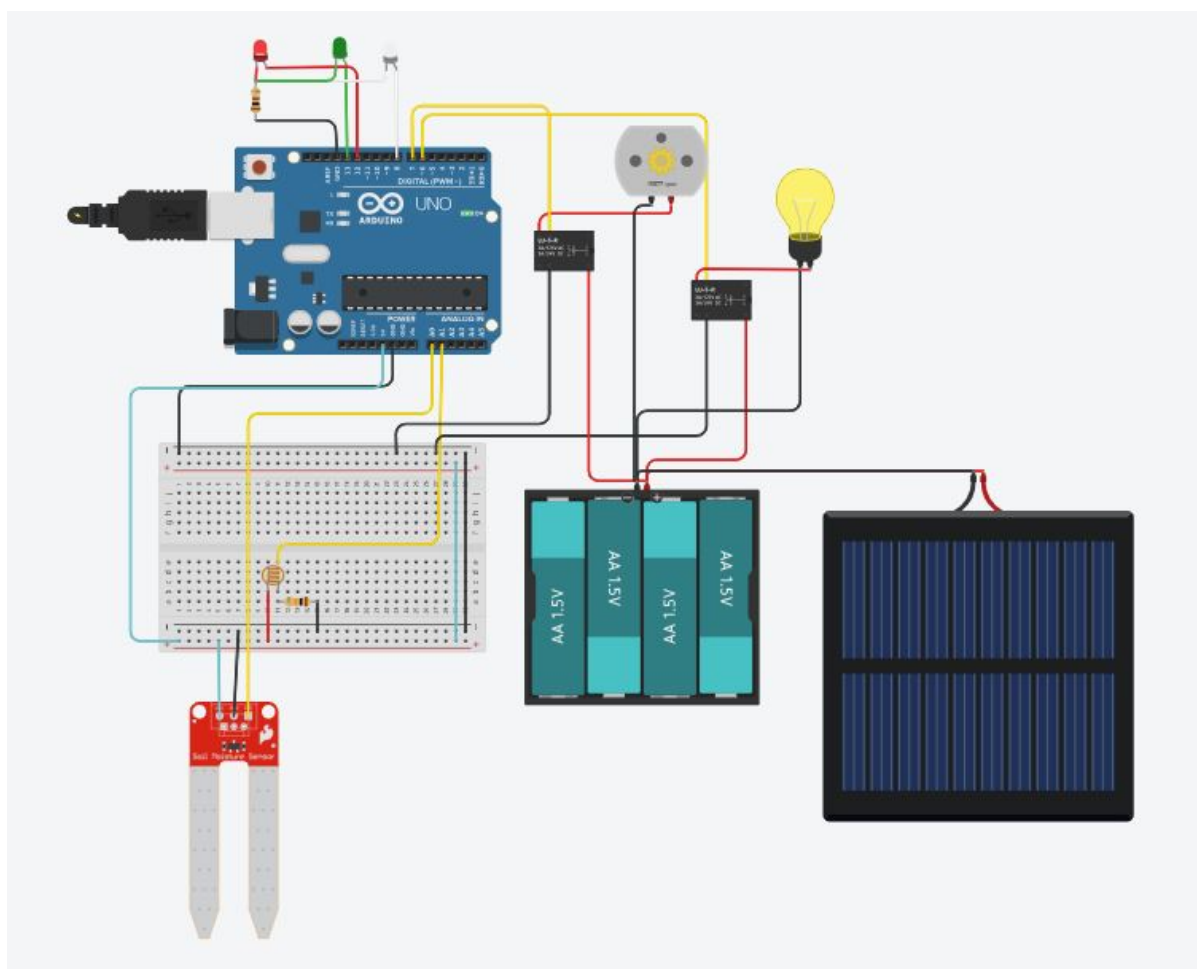
Próprio autor (2024)

Resumo do sistema completo:

O sistema completo foi montado integrando todos os componentes descritos anteriormente, incluindo sensores, atuadores e o Arduino Uno, em uma estrutura funcional e compacta. O higrômetro e o fotoresistor foram posicionados estrategicamente para capturar informações precisas sobre as condições do solo e da luminosidade, enquanto os relés controlam a ativação da bomba de água e da lâmpada artificial. A célula solar e a bateria fornecem energia sustentável ao sistema, garantindo sua operação contínua.

A Figura 13 abaixo apresenta o sistema completo montado, ilustrando a disposição dos componentes e suas conexões:

Figura 13 – Sistema de irrigação completo



Próprio autor (2024)

4.5 Desenvolvimento do software

O desenvolvimento do software e da programação foi realizado no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) fornecido pelo Arduino. Inicialmente, foram feitas as declarações de todos os componentes do sistema, incluindo as configurações das respectivas saídas analógicas e digitais, bem como o estado inicial de cada componente. Em seguida, foi implementado um loop de repetição para permitir que o sistema avalie continuamente o estado do ambiente analisado, fornecendo as informações necessárias para o acionamento da bomba de água e da luz artificial.

As ações a serem tomadas com base nas informações fornecidas pelos sensores (higrômetro e fotodiodo) foram então definidas, estabelecendo a lógica para o controle do sistema. Esse processo permite que o sistema reaja dinamicamente às variações do ambiente, ajustando o funcionamento da bomba de água e da luz artificial conforme as

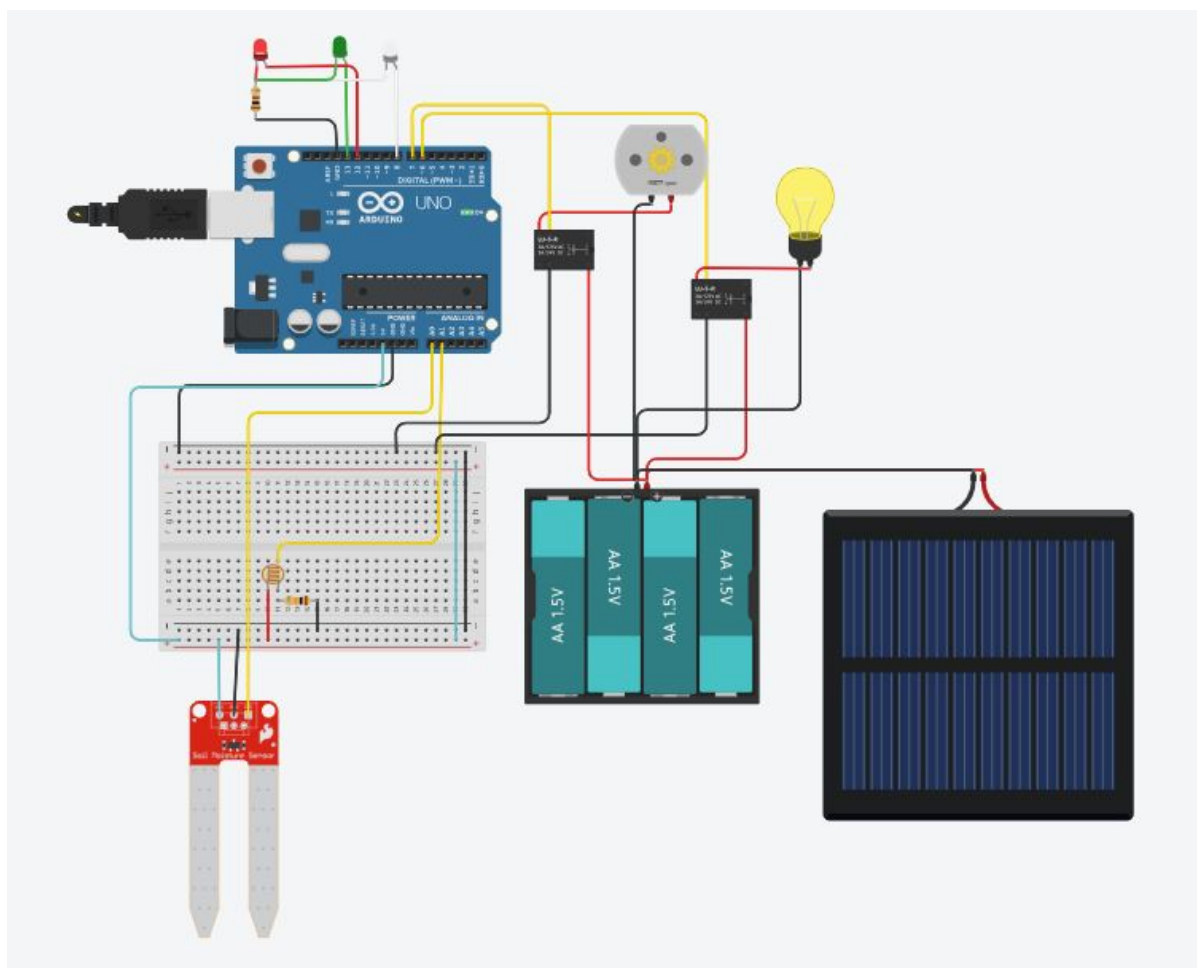
condições detectadas pelos sensores.

O código utilizado no sistema, assim como os comentários acerca de seu funcionamento, está presente no apêndice 1.

Um segundo software foi desenvolvido em Python. Ele foi responsável por captar os dados do higrômetro coletados pelo Arduino e armazená-los em um arquivo .txt no computador. O código está presente no apêndice 2.

4.5.1 Imagem do sistema

Figura 14 – Sistema de controle



Próprio autor

5 Resultados

Neste tópico, é apresentado como dimensionar e programar cada etapa necessária para construir um sistema de irrigação automatizado.

5.1 Dimensionamento da Bateria

Nessa simulação, considerou-se que a bateria deve ter capacidade para alimentar o sistema durante um dia sem depender da energia solar. O cálculo foi realizado considerando três componentes com consumo de energia relevante. Os componentes, assim como seu consumo de energia e tempo de utilização diária, estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de energia pelos componentes do sistema

Componentes	Potência (W)	Tempo de uso (h/dia)
Arduino	0,02	24
Lâmpada	5	3
Bomba d'água	12	0.2

Próprio autor

Somando o resultado da multiplicação da potência pelo tempo de uso diário, calcula-se que o sistema consome 17,88 Wh em um dia, sendo essa a capacidade necessária da bateria.

5.2 Dimensionamento da célula solar

Para o dimensionamento das células solares, considerou-se que elas devem fornecer 17,48 Wh em um dia, visto que essa é a energia necessária para o funcionamento do sistema. Além disso, foram consideradas as seguintes condições:

Área da Placa = A

Eficiência da Placa = $E_f = 0,18$

Irradiação Solar = $S = 4500 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$

Energia diária fornecida = $E = 17,88 \text{ Wh}$

Levando em conta as considerações acima, chegou-se ao dimensionamento da placa solar pela expressão:

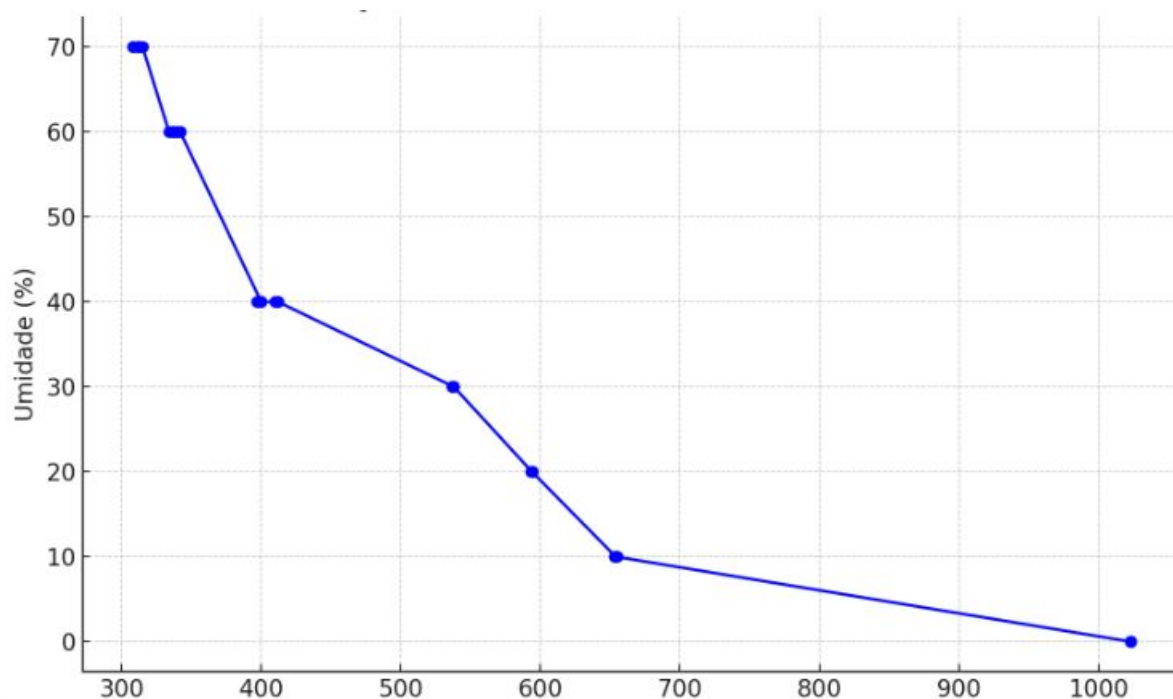
$$A = \frac{E}{E_f \times S} \quad (2)$$

Sendo assim Área da célula $0,022 \text{ m}^2$

5.3 Calibração do higrômetro

A curva de calibração do higrômetro foi realizada, registrando os valores obtidos pelo sensor em diferentes níveis de umidade do solo. A curva das medições está apresentada na figura 15:

Figura 15 – Relação entre valores de leitura e Umidade



Próprio autor

O ajuste dos dados encontrados foi feito por meio de uma regressão polinomial de segundo grau, o qual resultou na equação abaixo, onde x é a leitura realizada pelo sensor:

$$Umidade = 2 \times 10^{-6}x^2 - 0,0033x + 1,5012$$

Para esse ajuste foi obtido um R^2 de 0,97

O alto valor do R^2 indica que a curva é aderente à explicação dos dados captados pelo sensor. Em outras palavras, 97% dos valores de umidade do solo são explicados pelos valores lidos no sensor.

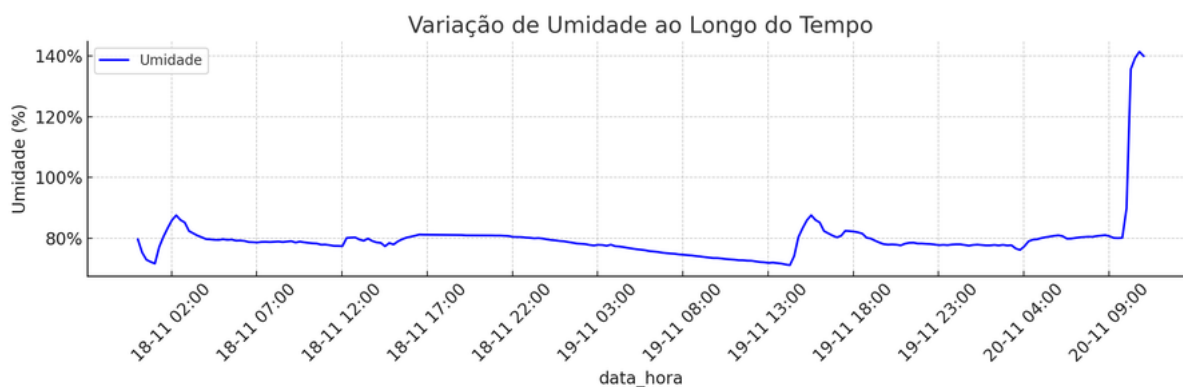
Sendo assim, conclui-se que, para as condições aplicadas neste experimento, as medições feitas pelo higrômetro estão alinhadas com a umidade real do solo.

5.4 Umidade do solo

O gráfico apresentado na figura 16 apresenta a média da umidade do solo registrada a cada 15 minutos, ao longo do tempo.

Observam-se dois momentos de aumento brusco na umidade do solo, que ocorreram devido ao acionamento das bombas de água. Esses períodos foram pouco antes das 2h do dia 18 e logo após as 13h do dia 19.

Figura 16 – Umidade ao longo do tempo



Próprio autor

Além disso, nota-se um aumento acentuado na umidade após as 9h do dia 20. Esse aumento foi causado por uma falha operacional do sensor de umidade, decorrente da oxidação de sua estrutura, conforme demonstrado na figura 17.

Figura 17 – Higrômetro ao final do experimento

Próprio autor

Por fim, este estudo demonstra a relação direta entre a umidade do solo e o acionamento do sistema, concluindo que o sistema de controle respondeu de forma adequada, garantindo um controle preciso.

5.5 Limitações do sistema e proposta para futuras soluções

Apesar dos resultados satisfatórios, algumas limitações práticas foram identificadas ao longo do desenvolvimento e simulação do sistema, especialmente relacionadas aos sensores, à durabilidade dos componentes e à exposição do Arduino. A principal limitação observada foi o fato de que os sensores de umidade capturam dados apenas de um ponto específico do solo. Essa característica pode gerar leituras que não representam adequadamente a condição geral do solo, considerando sua heterogeneidade natural. Para superar esse problema, uma solução seria a instalação de múltiplos sensores distribuídos em diferentes pontos do solo. Isso permitiria obter uma média mais representativa da umidade do terreno, melhorando a eficiência do sistema de irrigação.

Outra questão importante está relacionada à oxidação dos sensores de umidade. Por estarem constantemente em contato com o solo úmido, esses dispositivos são suscetíveis à corrosão, o que pode comprometer sua vida útil e precisão. Para mitigar esse problema, é recomendada a utilização de sensores com proteção contra oxidação, como os capacitivos, que são mais resistentes à corrosão. Adicionalmente, a aplicação de revestimentos metálicos protetores ou a manutenção periódica, incluindo limpeza e inspeção dos sensores, pode contribuir para aumentar sua durabilidade.

Por fim, destaca-se a necessidade de proteger o Arduino, que é um componente eletrônico sensível e não pode ser exposto diretamente às condições do ambiente externo. Como o sistema frequentemente será utilizado em locais abertos, onde as plantas estão, a exposição a fatores como umidade, poeira e luz solar pode comprometer o funcionamento do dispositivo. Para solucionar essa limitação, recomenda-se o uso de uma capa protetora ou de uma caixa estanque para abrigar a placa Arduino e outros componentes eletrônicos. Essa proteção deve ser planejada para oferecer resistência a condições adversas sem prejudicar a ventilação ou o acesso necessário para manutenção.

Essas limitações práticas não comprometem a viabilidade do sistema, mas ressaltam a importância de considerar melhorias futuras para sua aplicação em larga escala.

6 Discussão

Os resultados apresentados neste tópico, obtidos pelo bom funcionamento da simulação do sistema de irrigação automatizado, referem-se aos custos, à sustentabilidade do projeto e à viabilidade prática.

6.1 Sustentabilidade do projeto

O sistema de irrigação simulado neste projeto apresenta características que favorecem claramente a otimização do uso dos recursos hídricos, evitando desperdícios e alinhando-se ao enfoque na sustentabilidade ambiental. A utilização de tecnologia e sistemas de controle permitiu reduzir o desperdício durante o ciclo operacional de irrigação, além de assegurar que o vegetal irrigado receba, ao longo de seu ciclo de vida, a água e a luz necessárias para seu desenvolvimento.

Adicionalmente, o uso de energia solar como fonte de alimentação proporciona independência energética ao sistema e contribui para a valorização de tecnologias sustentáveis, reduzindo a dependência de fontes elétricas poluentes, como aquelas derivadas de combustíveis fósseis.

6.2 Viabilidade Prática

A simulação do sistema de controle foi realizada com êxito. Seu funcionamento, código-fonte, componentes utilizados e conexões eletrônicas podem ser consultados online.

Garante-se, assim, a viabilidade prática do projeto, uma vez que foi disponibilizado de forma gratuita e online, além de possuir um baixo custo de implementação.

6.3 Custos

Foram utilizados, como parâmetro, os preços disponíveis em marketplaces online. Esses valores estão apresentados na tabela 4 :

Tabela 4 – Estimativa de preços para desenvolvimento do projeto

Componentes	Quantidade	Preço médio
-------------	------------	-------------

Componentes	Quantidade	Preço médio
Painel Solar	1	R\$ 80,00
Bateria	1	R\$ 50,00
Higrômetro	1	R\$ 6,50
BreadBoard	1	R\$ 7,57
fotoresistor	1	R\$ 0,85
Relay SPDT	2	R\$ 12,50
Arduino Uno	1	R\$ 69,00
Mini Bomba d'água	1	R\$ 17,90
Lâmpada	1	R\$ 7,90

Próprio autor

O custo total do projeto foi analisado, levando em conta todos os componentes utilizados, como o Arduino Uno, sensores, relés, bomba de água, célula solar e bateria. Com base nos valores encontrados em marketplaces online, o custo médio estimado para a montagem do sistema completo foi de R\$ 252,22. Esse valor representa uma alternativa econômica para a automação de sistemas de irrigação, tornando-o acessível para pequenos agricultores e entusiastas que buscam soluções eficientes e sustentáveis para a gestão de recursos hídricos.

7 Conclusão

Este projeto demonstrou a viabilidade de um sistema de irrigação automatizado, baseado em tecnologias acessíveis e sustentáveis. Sua aplicabilidade em cenários reais é clara, onde a eficiência hídrica e a automação podem trazer benefícios significativos. O custo acessível do sistema reforça seu potencial de implementação em comunidades rurais e por agricultores familiares, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e eficiente.

A integração dos sensores de umidade, relés e Arduino Uno em um sistema funcional destaca o potencial de tecnologias de baixo custo na solução de problemas práticos. No entanto, é importante observar que o desempenho do sistema pode variar dependendo das condições locais, como tipo de solo, clima e infraestrutura disponível. A aplicação em larga escala exigirá adaptações específicas para atender às necessidades de diferentes usuários e ambientes.

O projeto demonstrou que a automação de processos de irrigação pode ser feita de maneira simples e acessível, apresentando potencial para solucionar problemas de gestão hídrica na agricultura familiar. Os componentes de fácil acesso permitem que o sistema seja replicado por usuários com conhecimento básico em eletrônica e programação. Além disso, o uso de energia solar torna o projeto ainda mais atrativo em regiões remotas, onde o acesso à rede elétrica é limitado.

Para otimizar ainda mais o projeto, estudos futuros podem explorar alternativas mais avançadas para os componentes utilizados. Por exemplo, o desenvolvimento ou integração de sensores de umidade mais robustos e resistentes à oxidação poderia aumentar a durabilidade e precisão do sistema. Da mesma forma, a substituição do Arduino Uno por microcontroladores mais avançados e energeticamente eficientes pode melhorar o desempenho e reduzir o consumo de energia.

Além disso, a expansão do escopo do projeto pode incluir a integração de tecnologias de monitoramento remoto e Internet das Coisas (IoT). Isso permitiria que os usuários monitorassem e controlassem o sistema à distância, utilizando dispositivos móveis ou plataformas online. Outras melhorias podem incluir o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para prever as necessidades de irrigação com base em dados históricos e condições climáticas.

A pesquisa também pode explorar a aplicação do sistema em contextos mais amplos, como plantações comerciais ou ambientes urbanos. O uso em projetos de paisagismo sustentável, telhados verdes e jardins comunitários são exemplos de áreas onde este sistema poderia ser adaptado e expandido. Essas iniciativas ampliariam o impacto social e ambiental do projeto, fortalecendo seu papel na promoção de práticas agrícolas modernas e conscientes.

Portanto, conclui-se que o projeto alcançou seus objetivos, demonstrando que a automação pode trazer uma solução eficiente para a agricultura sustentável. Contudo, a

implementação em cenários mais complexos dependerá de melhorias contínuas no sistema e da adaptação às condições específicas de cada aplicação, algo que futuros estudos poderão abordar com maior profundidade.

Referências

- AMARAL, O. A. do. **APLICABILIDADE DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICO NO CULTIVO DA COUVE - FLOR**. 2017. Dissertação (Engenharia Elétrica) — FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA.
- AMARAL, R. C. do. **Componentes Eletrônicos Básicos e suas Aplicações**. LTC Editora. Disponível em: 2012.
- ARDUINO. **Arduino Uno Rev3 Documentation**. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>. Acesso em: 03/11/2024.
- BARBOSA, J. W. **SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO**. 2013. Dissertação (Ciência da Computação) — Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis.
- BERTOLI, G. de C. **Sistemas Fotovoltaicos de Geração de Energia**: Comparação de Desempenho entre um Sistema com Rastreamento Solar e um Sistema Estático. 2012. Tese (Engenharia Civil) — Universidade Estadual Paulista.
- BERWANGER, D. **Energia solar fotovoltaica na irrigação por pivô central**. 2024. Dissertação (Engenharia de Energia na Agricultura) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica**: Fundamentos e aplicação. 2008. Dissertação (Engenharia elétrica) — Universidade federal do Rio de Janeiro.
- CRESESB. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**, p. 1 – 7, 6 2018. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=291. Acesso em: 27/01/2024.
- EHSANI, R. Instrumentation and Control Systems for Agricultural Machinery and Production Processes. **Springer**, 2007.
- GUADAGNINI, M. A. **Fontes Alternativas de Energia: Uma visão geral**. Rio de Janeiro — COPPE/UFRJ.
- HOPPE, L. **Geração de energia limpa e diversificação da matriz energética**: a viabilidade da produção de gás natural a partir do armazenamento geológico de CO₂ na jazida de Charqueadas. 2009. 2009. Tese (Economia do Desenvolvimento) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- LIMA, A. A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de ensino de física**, 10 2019.
- MENEZES, E. L. da S.; MUSZKAT, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância/UFSC, 2005.
- NUNES, A. F.; PINHO, Y. K. R. de; MENDES, L. F. R. Energia solar fotovoltaica aplicada a sistema de irrigação em olericultura. **CONEPE, Congresso de ensino pesquisa e extensão**, Campos dos Goytacazes, p. 1 –, 2014.
- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. [S.l.]: Pearson, 2010.

SILVA, E. L. da; BORGES, F. de S. **Introdução à Eletrônica**. 1. ed. [S.l.]: Editora Universitária UFPE, 2015.

SOUZA, R. O. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação automatizado para áreas experimentais**. 2001. Dissertação (Agronomia) — Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

Apêndices

Código 1 – Medidor de solo com Arduino UNO + Higrômetro

```
1 /*****
2   Projeto: Medidor de solo com Arduino UNO + Higrômetro
3   Data: 26/04/2023
4   Autor: Vinnícius Okushiro Ayres
5
6
7  **** DEFINIÇÕES DE CONFIGURAÇÃO ****
8  #define umidadeLimite 300 //Define a umidade limite para que seja
   acionado o solenoide
9  #define luminosidadeLimite 500 //Define a luminosidade limite
   para que seja acionado a lâmpada
10
11 **** DEFINIÇÕES DE PINOS (ENTRADAS E SAIDAS) ****
12 #define hSig A0 //Pino analogico utilizado pelo Higrômetro
13 #define pSig A1 //Pino analogico utilizado pelo photosensor
14 #define oLedRed 12 //Pino Digital responsável pelo LED vermelho
15 #define oLedGreen 13 //Pino Digital responsável pelo LED verde
16 #define oLedWhite 8 //Pino Digital responsável pelo LED branco
17 #define oRele 7 //Pino Digital responsável pelo rele da bomba de
   água
18 #define oRele2 6 //Pino Digital responsável pelo rele da lâmpada
19
20 **** INICIO DO SETUP ****
21 void setup() {
22   pinMode(hSig, INPUT); //Define o pino do Higrômetro como
   entrada
23   pinMode(oLedRed, OUTPUT); //Define o pino do LED vermelho como
   saída
24   pinMode(oLedGreen, OUTPUT); //Define o pino do LED verde como
   saída
25   pinMode(oLedWhite, OUTPUT); //Define o pino do LED branco como
   saída
26   pinMode(oRele, OUTPUT); //Define o pino do Rele da bomba como
   saída
27   pinMode(oRele2, OUTPUT); //Define o pino do Rele da lampada
   como saída
28   digitalWrite(oLedRed, LOW); //Inicia LED Vermelho desligado
29   digitalWrite(oLedGreen, LOW); //Inicia LED Verde desligado
30   digitalWrite(oLedWhite, LOW); //Inicia LED Branco desligado
31   digitalWrite(oRele, LOW); //Inicia o Rele da bomba de agua
   Desligado
32   digitalWrite(oRele2, LOW); //Inicia o Rele da lâmpada Desligado
33   Serial.begin(9600); //Inicializa a porta serial
34 }
35 **** INICIO DO LOOP ****
36 void loop() {
37   Serial.print("Valor de Leitura do sensor: "); //Mostra no
   monitor serial a mensagem
38   Serial.println(analogRead(hSig)); //Mostra no monitor serial o
   valor de leitura do higrômetro
39
40   if (analogRead(hSig) < umidadeLimite) { //Caso a umidade seja
```

```

        menor do que o valor setado em umidadeLimite
41    digitalWrite(oLedRed, HIGH); //Acende o LED Vermelho
42    digitalWrite(oLedGreen, LOW); //Desliga o LED Verde
43    digitalWrite(oRele, HIGH); //Liga o rele
44 }
45 else { //Caso a umidade do solo esteja dentro do limite
        estabelecido
46    digitalWrite(oLedRed, LOW); //Apaga o LED Vermelho
47    digitalWrite(oLedGreen, HIGH); //Liga LED Verde
48    digitalWrite(oRele, LOW); //Desliga Rele
49 }
50 if (analogRead(pSig) < luminosidadeLimite ) { //Caso a
        luminosidade seja menor do que o valor setado em
        luminosidadeLimite
51    digitalWrite(oLedWhite, HIGH); //Acende o LED Branco
52    digitalWrite(oRele2, HIGH); //Liga o rele responsável pela l
        âmpada
53 }
54 else { //Caso a luminosidade esteja dentro do limite
        estabelecido
55    digitalWrite(oRele2, LOW); //Desliga Rele
56 }

```

Código 2 – Salvamento de dados em txt

```

1 import serial
2 import time
3 from datetime import datetime
4
5 # Configuração da porta e taxa de comunicação
6 port = "COM4"
7 baudrate = 9600
8 arquivo = "dados_arduino_2.txt"
9
10 def salvar_dados_arquivo(file, linha):
11     """Função para salvar os dados no arquivo."""
12     file.write(linha + "\n")
13     file.flush()
14
15 def conectar_arduino(port, baudrate):
16     """Função para conectar ao Arduino com tentativas contínuas."""
17     while True:
18         try:
19             print(f"Tentando conectar ao Arduino na porta {port
20                 }...")
21             arduino = serial.Serial(port=port, baudrate=baudrate,
22                                     timeout=1)
23             time.sleep(2)
24             print("Conexão estabelecida com sucesso!")
25             return arduino
26         except serial.SerialException as e:
27             print(f"Falha na conexão: {e}. Tentando novamente em
28                 5 segundos...")
29             time.sleep(5)
30
31 def main():

```

```
29     while True: # Loop infinito para manter o programa tentando
30         reconectar sempre
31         arduino = conectar_arduino(port, baudrate)
32         with open(arquivo, "a") as file:
33             try:
34                 while True:
35                     if arduino.in_waiting > 0:
36                         now = datetime.now()
37                         current_time = now.strftime("%d/%m/%Y %H
38                             :%M:%S")
39                         message = arduino.readline().decode('utf
40                             -8').strip()
41                         linha = f"[{current_time}] Mensagem
42                             recebida: {message}"
43                         print(linha)
44                         salvar_dados_arquivo(file, linha)
45                         time.sleep(1)
46                     except (serial.SerialException, UnicodeDecodeError):
47                         print("Conexão perdida. Tentando reconectar...")
48                     except KeyboardInterrupt:
49                         print("\nPrograma interrompido pelo usuário.")
50                         break
51
52     # Fechar a porta antes de tentar reconectar
53     if arduino.is_open:
54         arduino.close()
55         print("Porta serial fechada. Reiniciando conexão...")
56
57 if __name__ == "__main__":
58     main()
```