

Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Especialização em Automação Industrial

Unidade Curricular: Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC): Relatório Técnico

IDENTIFICAÇÃO
Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Especialização em Automação Industrial
Unidade Curricular: TCC - Artigo
Campus: Lages/SC
Professora orientador: MSc. Darlan Felipe Klotz
Professor coorientador: Dr. Diego Augusto Gonzaga
Autor: Cleidson Junior Antonio da Silva
Título e Subtítulo: Sistema Automático Sustentável para Irrigação de Hortas Urbanas

SISTEMA AUTOMÁTICO SUSTENTÁVEL PARA IRRIGAÇÃO DE HORTAS URBANAS

Darlan Felipe Klotz¹; Diego Augusto Gonzaga¹; Cleidson Junior Antonio da Silva¹

1 – Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC;

darlan.klotz@ifsc.edu.br; gonzagaaugusto@gmail.com; cleidson92junior@gmail.com

Resumo

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automático e sustentável para irrigação de hortas urbanas, utilizando o microcontrolador *Raspberry Pi Pico W*. O sistema integra captação de água da chuva e energia solar fotovoltaica, sendo controlado por um sensor de umidade do solo calibrado experimentalmente. A metodologia incluiu o dimensionamento dos componentes fotovoltaicos, desenvolvimento do código em *MicroPython* e criação de interface web para monitoramento remoto. Os resultados demonstraram a viabilidade técnica e econômica do sistema, com custo total de R\$ 794,60, capaz de manter níveis adequados de irrigação através do monitoramento contínuo da umidade do solo. O sistema mostrou-se escalável, permitindo a expansão para múltiplos pontos de medição e controle, além de possibilitar futuras implementações IoT e inclusão de sensores adicionais.

Palavras-Chave: Automação, Irrigação Sustentável, Energia Solar, *Raspberry Pi Pico W*, Hortas Urbanas.

Abstract: This work presents the development of an automatic and sustainable irrigation system for urban gardens, using the *Raspberry Pi Pico W* microcontroller. The system integrates rainwater harvesting and photovoltaic solar energy, being controlled by an experimentally calibrated soil moisture sensor. The methodology included sizing of photovoltaic components, development of *MicroPython* code, and creation of a web interface for remote monitoring. The results demonstrated the technical and economic viability of the system, with a total cost of R\$ 794.60, capable of maintaining adequate irrigation levels through continuous soil moisture monitoring. The system proved to be scalable, allowing expansion to multiple measurement and control points, as well as enabling future IoT implementations and inclusion of additional sensors.

Keywords: Automation. Sustainable Irrigation. Solar Energy. *Raspberry Pi Pico W*. Urban Gardens.

1 INTRODUÇÃO

A água disponível no Brasil e no mundo está se tornando cada vez mais limitada devido ao aumento do consumo, à redução da oferta e à degradação dos recursos hídricos. Práticas sustentáveis, como a captação de águas das chuvas para fins de irrigação, são fundamentais para atenuar esses problemas, visto que diminuem a utilização da água de rios e poços. Sistemas de captação de água da chuva podem ser facilmente instalados em telhados de residências (ALVES, 2018).

Por ter uma boa qualidade, a água da chuva é recomendada para a irrigação, visto que ela passa por processos naturais de destilação, evaporação e condensação no ciclo hidrológico (BOULOMYTIS, 2007). Além disso, as águas pluviais geralmente apresentam pH neutro, variando entre 5,8 e 8,6, atendendo aos padrões exigidos por normas nacionais e internacionais (ALVES, 2018). Com a redução da disponibilidade de água potável, a captação de água da chuva para irrigação torna-se uma solução prática e eficiente, especialmente com a instalação de filtros simples para a remoção de partículas sólidas (SEBRAE et al., 2015).

A qualidade da água utilizada na irrigação é essencial, sendo a salinidade e toxicidade fatores críticos (ALMEIDA et al., 2010). Em Lages/SC, medições de variáveis como condutividade, turbidez, cor e alcalinidade da água da chuva indicam valores adequados, dentro dos padrões toleráveis (SCHEIN et al., 2014).

No cultivo de hortaliças, a irrigação desempenha um papel fundamental, especialmente para plantas de ciclo curto. Durante a fase de produção de mudas, a irrigação deve ser diária com pouca água e alta frequência. Na fase de desenvolvimento, a irrigação deve ser menor em frequência e maior em volume (CLEMENTE et al., 2012). Além disso, a umidade do solo é um fator crucial no que diz respeito ao desenvolvimento das hortaliças, podendo limitar a produtividade e qualidade dos cultivos. Para o correto manejo da irrigação, é necessário o controle da umidade do solo durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (MAROUELLI et al., 1996).

Como exemplo de hortaliças, a alface (*Lactuca sativa*) é uma das mais consumidas no mundo, movimentando anualmente bilhões de reais no varejo do Brasil e exigindo um controle rigoroso de irrigação e umidade do solo (GARCIA et al., 2022). A escolha do método de irrigação influencia diretamente no desenvolvimento da

cultura. De acordo com MAROUELI et al. (1996), a irrigação por gotejamento se destaca entre os diversos métodos, apresentando eficiência entre 85% e 95%, além de oferecer vantagens como menor consumo de energia e mão de obra.

No entanto, sistemas de irrigação tradicionais podem ser ineficazes, exigindo tempo, mão de obra e altos custos para operação. Nesse sentido, sistemas automáticos de irrigação são cada vez mais importantes para otimizar a eficiência e a produtividade agrícola (ALVARENGA et al., 2014).

Nesse contexto de busca por maior eficiência, a energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa sustentável para alimentar sistemas de irrigação automáticos. O uso de energia solar é viável em residências e indústrias, devido à alta incidência solar no Brasil durante todo o ano (JESUS et al., 2021). A energia solar pode reduzir custos ao eliminar a necessidade de infraestrutura elétrica complexa e convencional (TAMBO et al., 2020).

Existem dois tipos principais de sistemas fotovoltaicos: o *on-grid*, conectado à rede elétrica, e o *off-grid*, independente da rede elétrica e que armazena energia em baterias (COSTA et al., 2020). Um sistema *off-Grid* para irrigação requer componentes específicos, como painel fotovoltaico, controlador de carga, inversor e banco de baterias (LEITE et al., 2023).

Neste projeto, a escolha do hardware é um fator importante para a viabilidade e eficiência. O *Raspberry Pi Pico W* destaca-se como uma plataforma de baixo custo, equipada com o microcontrolador RP2040, entradas digitais e analógicas, e conectividade wireless, o que facilita a automação e o controle remoto do sistema de irrigação (BARTH et al., 2018; RASPBERRY PI LTD, 2022).

O objetivo deste trabalho é desenvolver e apresentar uma solução sustentável para o cultivo de hortaliças em áreas urbanas, utilizando um sistema automatizado e controlado remotamente que aproveita recursos naturais como a água da chuva e a luz solar. O projeto visa fornecer uma solução prática e econômica, além de trazer a tecnologia como um integrador e facilitador para o usuário. Essa prática contribui para a educação profissional tecnológica ao integrar conceitos de automação, energia renovável e sustentabilidade, permitindo o desenvolvimento de habilidades práticas e teóricas fundamentais para o contexto da formação técnica.

O projeto apresenta um sistema de irrigação por gotejamento para hortas urbanas de alface, utilizando sensores de umidade do solo, um microcontrolador *Raspberry Pi Pico W* para controlar o processo, e uma válvula solenoide como atuador. A energia elétrica para o sistema é fornecida por um sistema fotovoltaico *off-grid*, enquanto a água de irrigação é coletada da chuva através de um sistema instalado no telhado da residência. O acompanhamento e controle do desenvolvimento das plantas são realizados por um sistema supervisorio em HTML, acessível via navegador web na rede local.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido e validado em uma pequena horta de *Lactuca Sativa* (alface) situada em uma área residencial na cidade de Lages-SC. O plantio foi realizado em garrafas plásticas descartáveis de água de 5 litros com o substrato da fabricante Solovita, formulado com terra vegetal enriquecida com fertilizante orgânico, adequado para o cultivo de hortaliças.

Para garantir a clareza e a organização deste estudo, os métodos propostos foram subdivididos conforme descrito a seguir:

2.1 Sistema de captação de águas

A água utilizada na irrigação do canteiro provém de um sistema de captação de águas pluviais, composto por um telhado de 8 m², tubos de PVC e um reservatório com capacidade de 240 litros. A Figura 1 ilustra o sistema de captação instalado. Estima-se que o volume armazenado seja suficiente para irrigar a horta por um período de 30 dias.

Figura 1 - Sistema de Captação Desenvolvido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.2 Calibração do Sensor de umidade

Para a calibração do sensor de umidade do solo, foi realizado os métodos caracterizados por CARDOSO et al. (2018) e GARCIA et al. (2022). Foi peneirado o substrato de maneira para que partículas espessas não interferissem na calibração do instrumento, a terra peneirada foi depositada em um recipiente de vidro para o processo de remoção da umidade. No procedimento de secagem, o recipiente foi levado ao forno micro-ondas, onde foi realizado o processo de ligar o micro-ondas em potência máxima por 1 minuto e aguardar desligado por 3 minutos, esse processo foi realizado oito vezes, retirando a umidade do substrato. Após o processo de secagem, foi colocado o substrato seco em um recipiente plástico de 5 litros. Para a pesagem da terra, foi utilizado uma balança de precisão com resolução de 0,01 g. A caracterização da umidade do solo iniciou com o valor próximo de 0 %, visto que o substrato estava seco, os valores percentuais de umidade foram obtidos acrescentando gradualmente massas de água. A Equação 1 apresenta a fórmula utilizada para determinação da umidade gravimétrica experimental do solo:

$$Umidade(\%) = \frac{massa\ de\ água\ [g]}{massa\ do\ solo\ [g]} * 100. \quad (1)$$

Para cada valor conhecido de umidade do solo a cada adição de massa de água, foi anotado o valor lido no depurador do *Raspberry Pi Pico W*. O procedimento de adição gradual de massa de água ao copo plástico foi realizado 9 vezes. A massa de terra utilizada no experimento foi de 1228 g. A partir do sétimo incremento de massa de água, a massa total acumulada no recipiente saturou, pois o solo atingiu sua capacidade máxima de absorção. A Tabela 1 apresenta os valores lidos no processo.

Tabela 1- Valores obtidos na calibração do sensor de umidade do solo.

Umidade gravimétrica do solo	Valor leitura <i>raspberry</i> (conversor AD de 16 bits)
0,00 %	65535
15,20 %	64734
31,89 %	63933
35,34 %	63690
38,79 %	63292
42,24 %	62188
45,68 %	59720
49,13 %	59131
52,58 %	58924
56,03 %	58712

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 2 ilustra o procedimento realizado para calibração do sensor de umidade do solo.

Com base nos valores apresentados na Tabela 1, aplicou-se o método de regressão polinomial para obter uma equação que descreve a umidade do solo em função dos valores lidos pelo *Raspberry Pi*. Como resultado, obteve-se a Equação 2, uma equação polinomial de terceira ordem com um coeficiente de determinação de 0,9330:

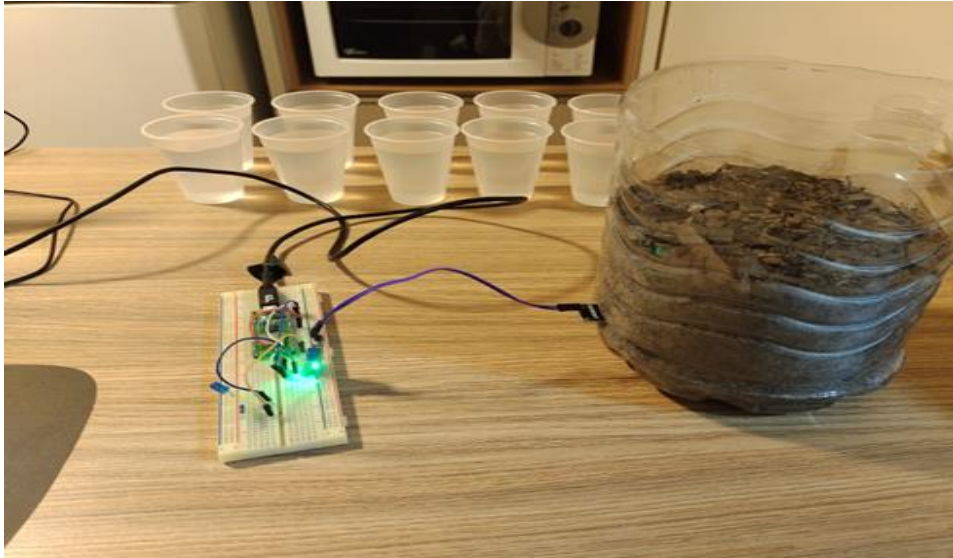
$$Umi_Calc = -2,595 \cdot 10^{-12} \cdot v^3 + 2,205 \cdot 10^{-7} \cdot v^2 - 5,078 \cdot 10^{-3} \cdot v + 127,1 \quad (2)$$

em que:

Umi_Calc → Valor da umidade obtida pela modelo de regressão polinomial;

v → valor lido pelo *Raspberry*.

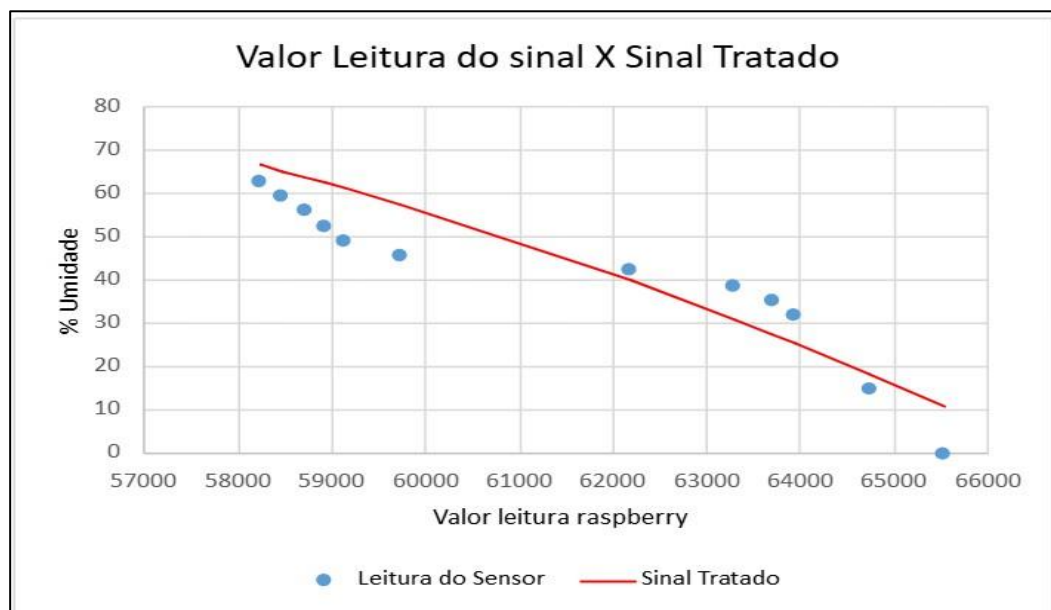
Figura 2 - Calibração sensor de umidade do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 3 apresenta o gráfico com as curvas da resposta do sinal do sensor de umidade conforme dados da Tabela 1 e os valores resultantes da Equação 2.

Figura 3 - Comparação entre o sinal lido *versus* sinal tratado do sensor.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A determinação da umidade gravimétrica ideal do solo para a irrigação foi realizada com base na fórmula proposta por Cardoso, Carvalho e Silva (2018), conforme apresentada na Equação 3:

$$U_{mi} = 0,3 + \frac{0,1}{\sqrt{[1+(0,35*\psi)^2]}} \quad (3)$$

sendo:

U_{mi} → umidade gravimétrica do solo (g/g);

ψ → potencial matricial (KPa).

De acordo com CARDOSNO et al. (2009), o potencial matricial que proporciona a melhor produtividade para a formação de variados tipos de alface é -5 KPa. De posse desse valor, obteve-se o valor desejado de 35 % para a umidade gravimétrica do solo.

2.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Para garantir a autonomia e eficiência energética do sistema, foi realizado o dimensionamento dos dispositivos pertencentes ao conjunto de geração de energia elétrica. O consumo diário do sistema foi estimado em 122,4 Wh/dia, considerando três horas diárias de acionamento da bobina de irrigação.

Uma bateria foi dimensionada com capacidade para armazenar energia suficiente para suportar até três dias consecutivos sem geração (recarga pela energia solar), resultando em uma necessidade mínima de 367,2 Wh/dia, necessitando de uma bateria com capacidade mínima de 30,6 Ah.

Para a geração, utilizou-se uma placa solar de 100 Wp, adequada para a média de insolação diária de 5 horas em Lages (TIBA et al., 2000). Esse módulo fornece aproximadamente 400 Wh/dia, considerando um fator de perdas de 20%, garantindo a recarga eficiente da bateria e a autonomia do sistema mesmo em condições de menor incidência solar. A Tabela 2 apresenta o método e resultado do dimensionamento.

Tabela 2- Dimensionamento Bateria e Placa Solar.

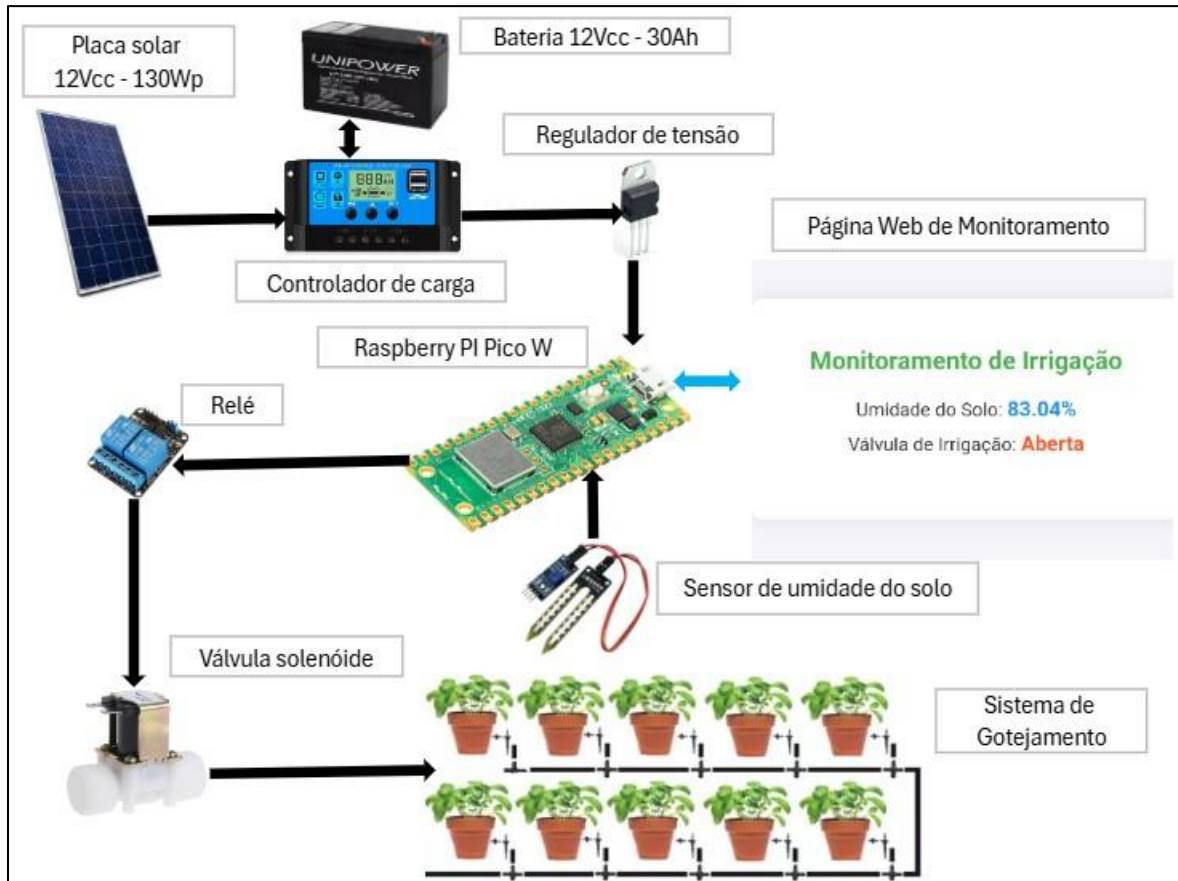
1.	Dimensionamento Bateria	Métrica
	Potência sistema com bobina ligada	11,4 W
	Potência sistema com bobina desligada	4,2 W
	Energia consumo do sistema por dia (considerando 3h de gotejamento por dia):	122,4 Wh/dia
	Tensão Bateria	12 Vcc
	Energia mínima Bateria (considerando 3 dias sem gerar energia)	367,2 Wh/dia
	Capacidade mínima da bateria	30,6 Ah
2.	Dimensionamento Placa solar	
	Insolação média diária em Lages:	5 h/dia
	Fator de perdas:	0,2
	Potência Módulo fotovoltaico	100 Wp
	Energia fornecida por dia	400 Wh/dia

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

2.4 Projeto do Sistema Embarcado de Irrigação Automatizada

A Figura 4 apresenta o fluxograma do projeto, onde as setas pretas indicam sinais elétricos e a seta azul representa o fluxo de dados. O sistema é alimentado por uma placa solar de 12V e 130Wp, que carrega uma bateria de 12V e 30Ah via controlador de carga. A energia armazenada é regulada por um LM7805 para garantir a tensão adequada aos componentes. O Raspberry Pi Pico W, responsável pelo controle do sistema, recebe dados do sensor de umidade do solo e, quando necessário, aciona um relé para energizar a válvula solenoide. Isso permite que a água do sistema de captação flua pelo sistema de gotejamento. O sistema também inclui monitoramento remoto por uma página web, que permite ao usuário acompanhar em tempo real a umidade do solo e o status da válvula de irrigação.

Figura 4 - Fluxograma com a arquitetura do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

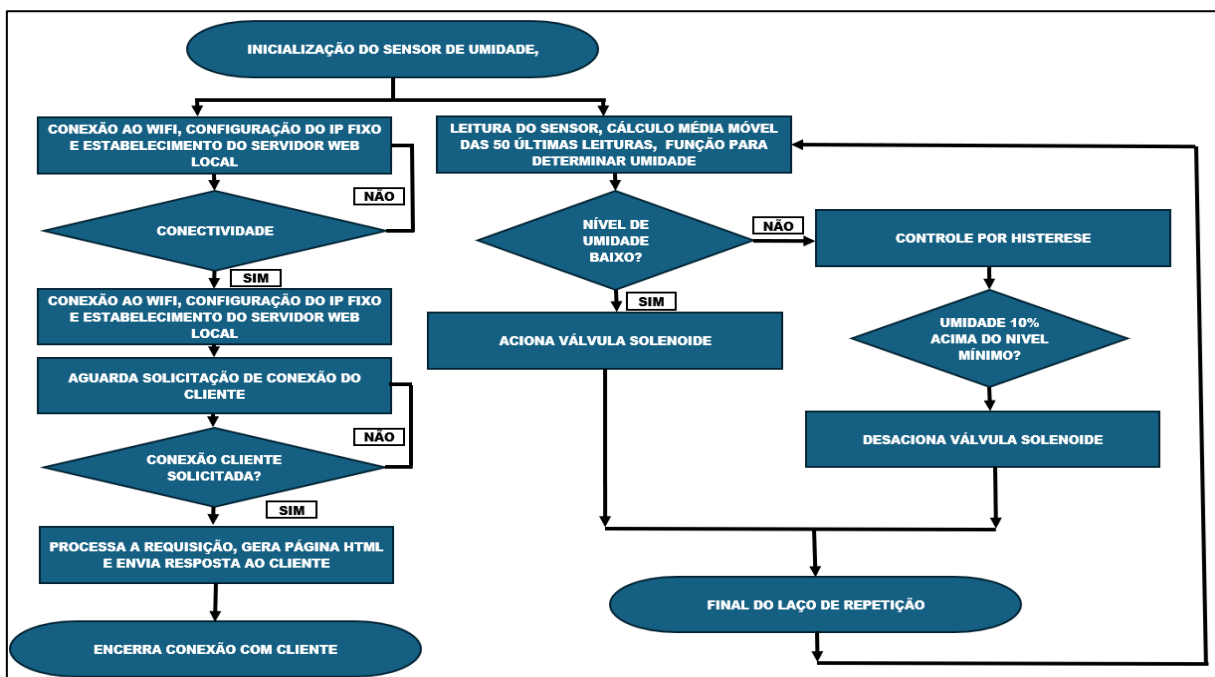
O algoritmo de controle foi desenvolvido na linguagem de programação *MicroPython* e o editor de código fonte utilizado foi o software *Thonny*. A estrutura do código desenvolvido para o sistema de controle de irrigação utilizou uma abordagem de programação estruturada e assíncrona.

A página web para monitoramento da irrigação teve o layout da interface com o usuário desenvolvido em HTML e CSS. A comunicação entre o Raspberry Pi Pico W e o computador utilizado para operação foi realizada por meio da rede de internet local (WLAN), com o protocolo Wi-Fi sendo utilizado. O acesso à tela de visualização da horta pode ser feito digitando o endereço IP atribuído ao Raspberry Pi, que é configurado no código-fonte. O servidor web foi implementado utilizando sockets, possibilitando o envio e recebimento de requisições HTTP simples. O código também faz uso do módulo *network* para gerenciar a conexão Wi-Fi e configurar um IP estático, assegurando uma comunicação contínua com a interface web.

Paralelamente à gestão da conectividade, o *Raspberry* executa o *loop* de controle. A lógica é dividida em funções específicas, como a leitura do sensor de umidade do solo, que utiliza um conversor analógico-digital (ADC) para obter dados em tempo real e aplicá-los no modelo matemático polinomial apresentado na Equação 2 para calcular o percentual de umidade gravimétrica. Para a eliminação de *outliers* (medidas indesejadas ocasionadas por distúrbios na medição), é utilizada uma função de média móvel baseada nas 50 últimas leituras, é realizado uma leitura por segundo. Se o nível de umidade do solo está abaixo de 35 %, a válvula solenoide é acionada, iniciando o processo de irrigação por gotejamento. Após acionada, o controle *On-Off* com histerese entra em ação e garante que a válvula permaneça aberta até que o nível de umidade atinja um valor 10 % superior ao nível mínimo de 35 % pré-definido, evitando assim ciclos de liga/desliga frequentes que poderiam prejudicar o sistema. Quando esse critério é alcançado, a válvula é desativada, encerrando o processo de irrigação. Este ciclo se repete continuamente, assegurando um monitoramento constante da umidade do solo e a manutenção adequada da irrigação.

A Figura 5 apresenta o fluxograma do código de programação desenvolvido para o controle do processo de irrigação, destacando de forma concisa as principais etapas envolvidas.

Figura 5 - Fluxograma do código de programação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

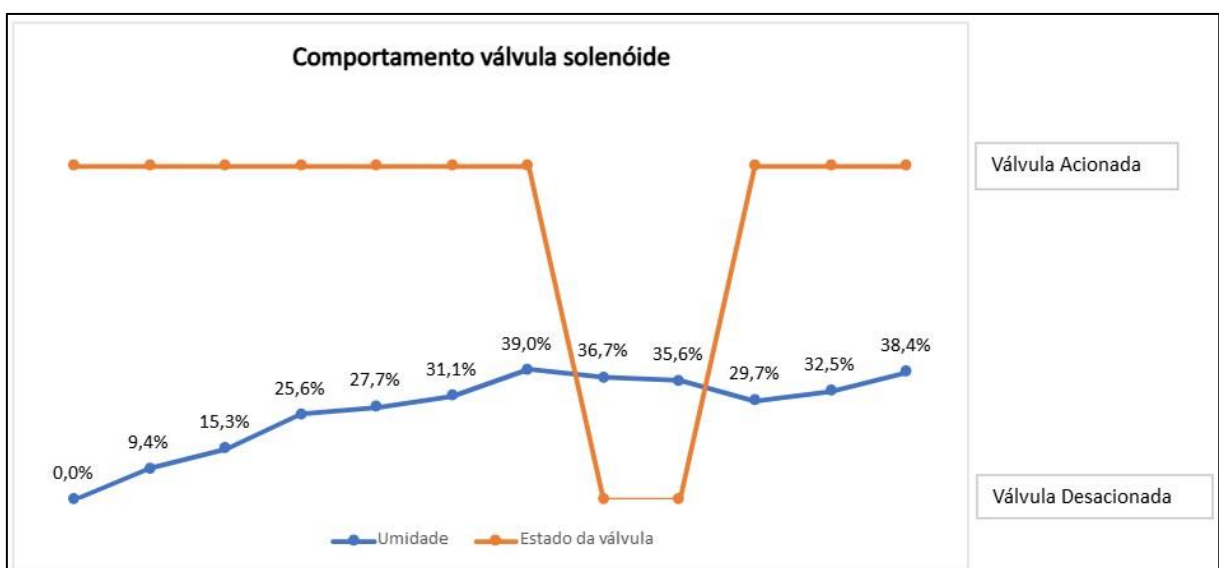
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 apresenta a etapa de validação do sistema proposto, mostrando, em (a), os componentes instalados; em (b), a umidade controlada na faixa dos 35%, conforme especificado; e em (c), o comportamento da válvula solenóide, comprovando a atuação do controle por histerese.

Figura 6 – Validação do sistema de irrigação.



(a) - Sensor e gotejador instalados.



(c) – Atuação da válvula solenóide *versus* umidade controlada.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O sistema automático sustentável para irrigação de hortas urbanas desenvolvido neste trabalho demonstrou ser uma solução eficiente e viável para o manejo da irrigação em pequenas áreas de cultivo. Ao compará-lo com outros sistemas automatizados existentes, como o sistema baseado em Arduino desenvolvido por GARVIA et al. (2022), o sistema proposto apresentou funcionalidades similares utilizando o *Raspberry Pi Pico W*, com a vantagem adicional de possibilitar acesso remoto via interface web. Em comparação com o sistema proposto por CARDOSO et al. (2018), que utilizava métodos mais tradicionais de automação sem conectividade, a solução proposta neste trabalho oferece maior flexibilidade no monitoramento e controle. A integração de captação de água da chuva e energia solar fotovoltaica reduziu a dependência de recursos externos, tornando o sistema mais sustentável e adequado para áreas urbanas.

A Tabela 3 apresenta o custo detalhado dos componentes utilizados no sistema automatizado de irrigação. O valor total dos materiais foi de R\$ 774,60, o que demonstra um custo acessível considerando as funcionalidades e a autonomia oferecidas pelo sistema, como o monitoramento remoto e o controle da irrigação com base na umidade do solo.

Tabela 3 - Lista de componentes cotados.

Material	Qtd	Preço
<i>Raspberry Pi Pico W</i>	1	R\$ 110,00
Sensor de umidade do solo higrômetro + chip comparador LM393	1	R\$ 9,00
Válvula de vazão solenóide 12 Vcc 180° graus rosca 3/4" x 3/4"	1	R\$ 48,00
Módulo relé 5 V e dois canais	1	R\$ 14,00
Diodo 1N4007	1	R\$ 0,30
Transistor NPN BC 337	1	R\$ 0,30
Regulador de tensão 5 V - Modelo 7805	1	R\$ 3,00
Bateria selada 12 Vcc 30 Ah	1	R\$ 290,00
Placa fotovoltaica 130 Wp	1	R\$ 220,00

Controlador carga 12 V 10 A	1	R\$ 80,00
Fita gotejamento espaçamento de 20 cm	10 m	R\$ 20,00
Valor Total		R\$ 794,60

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em relação à expansão do sistema para cenários com múltiplas plantas ou áreas maiores, os resultados obtidos demonstram a versatilidade e escalabilidade da solução desenvolvida. O hardware *Raspberry Pi Pico W* utilizado, possui capacidade de processamento e número de portas suficientes para gerenciar múltiplos pontos de medição e controle (26 entradas digitais e 3 entradas analógicas). O sistema permite o monitoramento de até três áreas distintas de cultivo simultaneamente, considerando a utilização de um sensor de umidade e uma válvula solenoide para cada área monitorada.

Além disso, pode-se realizar a interpolação de valores de leituras em pontos estrategicamente posicionados. Assim, é possível, por exemplo, monitorar e controlar a irrigação de várias plantas em uma linha de gotejamento, aproveita a vazão constante das fitas de irrigação, permitindo que a distribuição de água seja uniforme e eficiente, mesmo com um número reduzido de sensores. Esta abordagem reduz o custo de implementação e mantém a eficiência do sistema, sendo particularmente eficaz em canteiros ou hortas com culturas que possuem necessidades hídricas similares.

A possibilidade de inclusão de mais sensores no sistema mostra-se promissora e tecnicamente viável. A adição de sensores de temperatura ambiente e do solo, bem como sensores de radiação solar, permitiria um controle mais preciso do processo de irrigação, considerando múltiplas variáveis ambientais. Esta expansão é suportada pela arquitetura do sistema e pela capacidade de processamento do *Raspberry Pi Pico W*. Estudos como o de TAMBO et al. (2020) indicam que a inclusão destes parâmetros adicionais pode aumentar a eficiência do uso da água em até 25%. Além disso, a implementação de sensores de qualidade da água, como pH e condutividade, permitiria um controle mais rigoroso da água de irrigação proveniente da captação pluvial.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para trabalhos futuros, destaca-se a possibilidade de expansão do sistema atual para uma solução IoT e inclusão de mais sensores. A adição de sensores de temperatura ambiente e do solo, bem como sensores de radiação solar e de qualidade da água (pH e condutividade), permitiria um controle mais preciso e seguro do processo de irrigação, considerando múltiplas variáveis ambientais. Esta evolução IoT permitiria a integração de múltiplos sistemas de irrigação em diferentes localidades, compartilhando dados e recursos através da internet.

A implementação de um servidor em nuvem para armazenamento e análise de dados históricos, combinada com algoritmos de aprendizado de máquina, poderia otimizar ainda mais o processo de irrigação, prevendo necessidades hídricas com base em padrões históricos e condições climáticas. Esta expansão também facilitaria o monitoramento de múltiplos cultivos em diferentes estágios de desenvolvimento, permitindo ajustes específicos nos parâmetros de irrigação para cada tipo de cultura.

Adicionalmente, o desenvolvimento de um aplicativo móvel dedicado melhoraria a experiência do usuário, oferecendo notificações em tempo real sobre o status do sistema e permitindo ajustes remotos nos parâmetros de irrigação. A integração com sistemas de previsão meteorológica também poderia ser implementada, otimizando o uso da água da chuva captada e adequando o cronograma de irrigação às condições climáticas previstas.

O sistema apresentado neste trabalho demonstra uma contribuição significativa para o enfrentamento da degradação ambiental e das mudanças climáticas, alinhando-se diretamente com os objetivos da ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável), que visa tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos. Ao integrar tecnologias de captação de água da chuva e energia solar fotovoltaica, o sistema proposto reduz a dependência de recursos hídricos convencionais e de energia elétrica não renovável, promovendo práticas sustentáveis que mitigam os efeitos das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Otávio. Qualidade da água de irrigação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Mandioca e Fruticultura, [s. l.], 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26783/1/livro-qualidade-aqua.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2024.

ALVARENGA, Alexandre C.; FERREIRA, Vitor H.; FORTES, Márcio Z. Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar. Instituto Federal de São Paulo - IFSP, [s. l.], 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcio-Fortes/publication/272789350_Energia_Solar_Fotovoltaica_Uma_Aplicacao_na_Irrigacao_da_Agricultura_Familiar/links/54ee23a60cf2e28308642c7d/Energia-Solar-Fotovoltaica-Uma-Aplicacao-na-Irrigacao-da-Agricultura-Familiar.pdf. Acesso em: 11 fev. 2024.

ALVES, K. L. F. N. A. Utilização de água da chuva para irrigação de horta urbana: horticultura como terapia ocupacional no IPCCAN. 2018. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2018.

BARTH, Vitor B. O. et al. Ensino pela pesquisa: desenvolvimento de um sistema web, baseado no Raspberry Pi e Node.js, para monitoramento e controle de periféricos. *Brazilian Journal of Development - BJD*, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/381/325>. Acesso em: 23 fev. 2024.

BOULOMYTIS, V. T. G. Estudo da qualidade da água de chuva captada em telhado residencial na área urbana para fins de irrigação de alface. In: 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Belo Horizonte, Bueno Brandão - MG, 2007. Disponível em: <https://silo.tips/download/estudo-da-qualidade-da-agua-de-chuva-captada-em-telhado-residencial-na-area-urba>. Acesso em: 11 fev. 2024.

CARDOSO, Gabriel G. G.; CARVALHO, Joianias S.; SILVA, João E. F. Manejo da irrigação na cultura da alface via Arduino Uno R3. UNESP, [s. l.], 2018. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2018v23n2p273-285>. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2343>. Acesso em: 27 fev. 2024.

CARDOSO, Gabriel G. G.; KLAR, Antônio E. Potenciais de água no solo na produção de alface. Universidade Estadual Paulista, [s. l.], 2009.

CLEMENTE, Flávia M. V. T.; HABER, Lenita Lima. Horta em pequenos espaços. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Hortaliças, [s. l.], 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176051/1/HORTA-EM-PEQUENOS-ESPACOS-4-IMP-2017.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2024.

COSTA, Andrelise C. et al. Energia solar fotovoltaica uma alternativa viável?. *Brazilian Journal of Development*, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/17385>. Acesso em: 20 fev. 2024.

GARCIA, Alisson F. C.; VAZ, Maria S. M. G.; FALATE, Rosane. Sistema de irrigação para culturas de alface crespa baseado em lógica fuzzy. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, [s. l.], 2022. DOI: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3318>. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3318>. Acesso em: 27 fev. 2024.

JESUS, A. M et al. Sistema de automatização para irrigação de uma horta a partir da energia fotovoltaica. [s. l.], 2021.

LEITE, Girlane C. C.; LEITE, Gilson C. C. Energia solar fotovoltaica: sistema off-grid como geração de energia elétrica. *Núcleo do Conhecimento*, [s. l.], 2023. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/livros/1819. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/livros/engenharias/sistema-off-grid>. Acesso em: 20 fev. 2024.

MARQUELLI, Waldir Aparecido; SILVA, Washington L. C.; SILVA, Henoque Ribeiro. Manejo da irrigação em hortaliças. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Hortaliças, [s. l.], 1996. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/756333/manejo-da-irrigacao-em-hortaliças>. Acesso em: 11 fev. 2024.

RASPBERRY PI LTD. Raspberry Pi Pico W Datasheet: an RP2040-based microcontroller board with wireless. 2022. Disponível em: <https://datasheets.raspberrypi.com/picow/pico-w-datasheet.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2024.

SCHEIN, Viviane Aparecida S. et al. Qualidade da água da chuva no Município de Lages. Seminário de Iniciação Científica - Universidade do Estado de Santa Catarina, [s. l.], 2014. Disponível em: https://www1.udesc.br/arquivos/id_submenu/1816/64viviane_aparecida_spinelli_schein_giulliana_momm_senem_sari.pdf. Acesso em: 11 fev. 2024.

SEBRAE; RTC CONSULTORIA EM GESTÃO DO AGRONEGÓCIO LTDA. Métodos de irrigação em hortaliças. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Sebrae, [s. l.], 2015. Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8af4c78945062d5e1d6c4fa50885cc81/\\$File/7129.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8af4c78945062d5e1d6c4fa50885cc81/$File/7129.pdf). Acesso em: 11 fev. 2024.

TAMBO, Fidel L. R.; THEBALDI, Michael S.; LIMA, Luiz A. Easydrip: dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento energizada por sistemas fotovoltaicos em regiões moçambicanas. *Brazilian Journal of Development - BJD*, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/16797/13826>. Acesso em: 11 fev. 2024.

TIBA, C. (coord.) et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos.

Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.: il., tab., mapas.