CAPÍTULO 3

ESQUEMAS ELÉTRICOS, CIRCUITOS DE LEITURA DE SENSORES E ACIONAMENTO DE ATUADORES NO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

1. INTRODUÇÃO À INSTRUMENTAÇÃO ELÉTRICA E CIRCUITOS DE CAMPO

A confiabilidade de um sistema automatizado de irrigação depende criticamente da qualidade dos circuitos eletrônicos projetados para realizar a interface entre os dispositivos de campo e o microcontrolador embarcado. No Sistema de Irrigação e Leitura de Campo (SILF), o hardware precisa executar duas tarefas fundamentais e complementares: a leitura contínua dos dados edafoclimáticos (umidade do solo, umidade relativa do ar e temperatura ambiente) e o acionamento seguro dos atuadores hidráulicos de alta potência (motobomba centrífuga e válvulas solenoides).

A concepção dos circuitos eletrônicos exige atenção rigorosa às características elétricas dos sensores e atuadores, bem como aos níveis de tensão suportados pelos microcontroladores. Enquanto o ESP32 opera nativamente com lógica de 3,3V em suas portas de entrada e saída (GPIO), as cargas de campo frequentemente demandam tensões de 12V, 24V ou até 220V em corrente alternada. Portanto, o projeto dos circuitos de leitura e acionamento deve garantir o condicionamento de sinal adequado, a filtragem de ruídos eletromagnéticos e o isolamento elétrico necessário para proteger os componentes lógicos contra sobretensões e picos de corrente.

Neste capítulo, são apresentados os esquemas elétricos completos, a especificação dos sensores edafoclimáticos, o circuito de leitura de dados, a lógica de filtragem e média computacional embarcada, e o circuito de acionamento de potência utilizados na plataforma de irrigação automatizada.

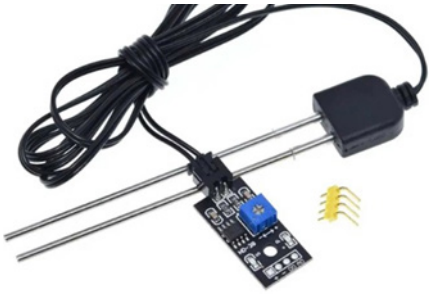
2. ESPECIFICAÇÃO DOS SENSORES EDAFOCLIMÁTICOS

A caracterização precisa do microclima e da matriz edáfica exige a seleção de sensores com adequada sensibilidade, baixo consumo energético e elevada durabilidade quando submetidos às intempéries do ambiente agrícola.

2.1. Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do Ar DHT11

Para o monitoramento das condições atmosféricas que influenciam diretamente as taxas de evapotranspiração das culturas, o sistema utiliza o sensor integrado do tipo DHT11. A escolha do sensor DHT11 deve-se ao fato de ser uma solução amplamente consagrada no monitoramento de temperatura e umidade, destacando-se pela simplicidade de operação, confiabilidade e baixo custo de aquisição. A Figura 1 ilustra os sensores utilizados no trabalho.

Figura 11: Sensores edafoclimáticos utilizados no sistema de irrigação automatizado.



O sensor de temperatura e umidade do ar DHT11 possui uma faixa de medição compreendida entre 0 °C e 50 °C para temperatura ambiente e de 20% a 80% para a umidade relativa do ar, apresentando precisão nominal de ±2 °C e ±5%, respectivamente. O componente integra um elemento capacitivo para mensuração da umidade e um termistor NTC para medição da temperatura, convertendo os sinais analógicos internos em um protocolo digital proprietário de barramento único (1-Wire).

Para assegurar a estabilidade do sinal digital e evitar flutuações de tensão na linha de comunicação durante as leituras pelo microcontrolador ESP32, é empregado um resistor de elevação (pull-up) conectado entre o pino de dados do sensor e a linha de alimentação de 3,3V.

2.2. Sensores Capacitivos de Umidade de Solo Anticorrosivos

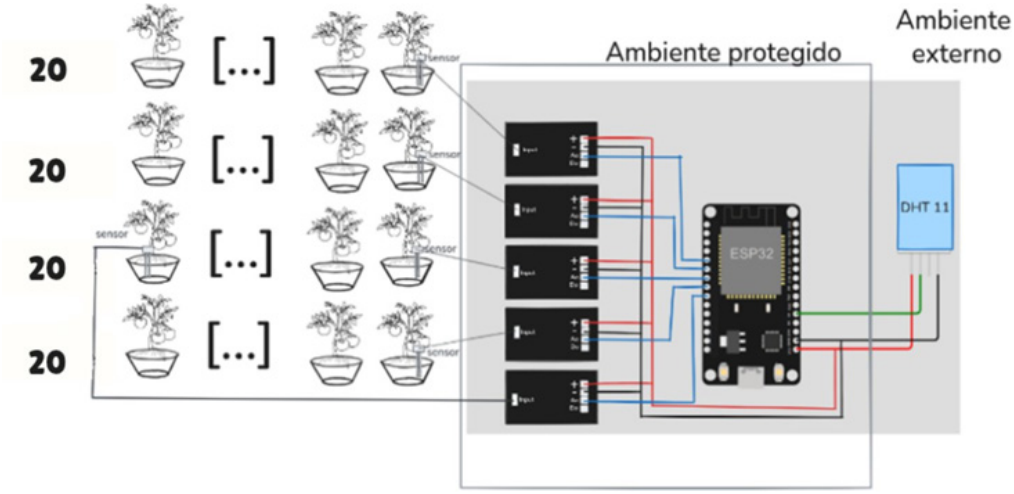
O monitoramento da lâmina de água retida no solo é realizado por cinco sensores de umidade do solo do tipo anticorrosivo, desenvolvidos pela fabricante WJ Componentes Eletrônicos. A característica anticorrosiva é fundamental para a operação contínua em ambiente edáfico, uma vez que previne a degradação e a oxidação prematura dos eletrodos provocadas pelo contato direto com a umidade e com os sais presentes na solução do solo.

Ao todo, foram utilizados cinco sensores desse modelo distribuídos estrategicamente pelas parcelas de amostragem. Cada sensor é acompanhado por um módulo eletrônico de condicionamento que converte a variação de capacitância captada pelas hastes em dois tipos de saída: uma saída analógica (tensão proporcional à umidade) e uma saída digital (nível lógico ajustado por um trimpot comparador). O módulo adapta os níveis de saída perfeitamente às faixas de entrada de 0 a 3,3V aceitas pelos conversores analógico-digitais (ADC) do microcontrolador ESP32.

3. CIRCUITO DE LEITURA DE DADOS E INFRAESTRUTURA DE SINAL

No Sistema de Irrigação e Leitura no Campo, a comunicação entre as placas microcontroladas de leitura e os circuitos de acionamento ocorre de forma integrada e contínua. A Figura 2 apresenta o esquema detalhado do circuito de leitura dos dados edafoclimáticos.

Figura 12: Circuito de ligação dos cinco sensores de umidade do solo e do sensor DHT11 ao microcontrolador ESP32.



O esquema elétrico do circuito de leitura demonstra a conexão direta das saídas analógicas dos cinco sensores de umidade do solo aos pinos de conversão analógico-digital (ADC) do ESP32, bem como a ligação do pino de dados do sensor DHT11 com seu respectivo resistor de elevação (pull-up).

Uma vantagem relevante desse projeto de circuito reside na compatibilidade direta de tensão: tanto os sensores capacitivos de umidade do solo quanto o sensor DHT11 operam na tensão nativa de 3,3V fornecida pelo próprio microcontrolador ESP32. Com isso, elimina-se a necessidade de transformadores, divisores de tensão ou conversores de nível lógico adicionais na etapa de leitura, reduzindo a complexidade do circuito e aumentando a confiabilidade do hardware.

4. TRATAMENTO COMPUTACIONAL, FILTRAGEM E MÉDIA DOS SENSORES

A amostragem de dados em ambientes agrícolas está sujeita a interferências causadas por desconexão física de cabos, mau contato, sensores danificados ou ruídos induzidos. Para garantir a obtenção de valores de umidade de solo altamente confiáveis, o firmware do ESP32 executa rotinas de validação e tratamento antes do envio das medições ao servidor central.

Após a realização das leituras pelos pinos ADC, o código de programação realiza uma verificação de consistência para checar se cada sensor está realmente conectado e coletando dados de forma correta (verificando se o sinal de tensão encontra-se dentro dos limites operacionais de calibração). Caso um sensor apresente circuito aberto ou leitura fora da faixa válida, ele é automaticamente desconsiderado do cálculo.

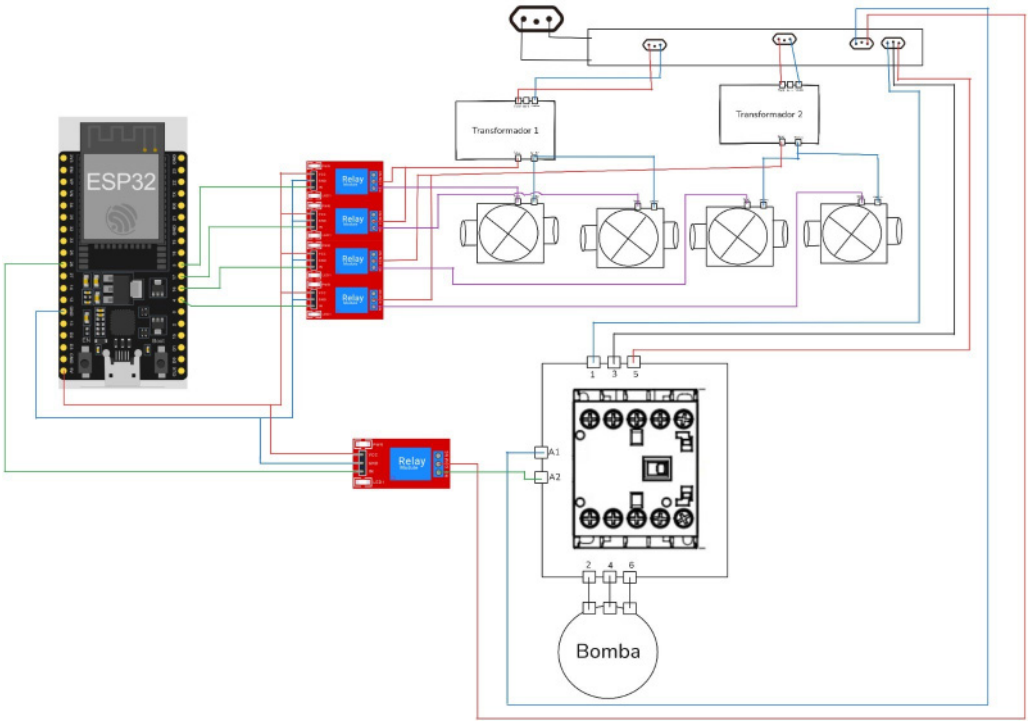
Em seguida, o algoritmo calcula a média aritmética considerando exclusivamente os valores provenientes dos sensores ativos. No entanto, em aplicações críticas, a simples média aritmética não é suficiente para isolar falhas intrínsecas, valores discrepantes (outliers) ou o deslocamento de sensores. Recomenda-se o uso suplementar da mediana, média aparada, filtros preditivos de Kalman e técnicas robustas de validação temporal

(OPPENHEIM; SCHAFER, 1999; SMITH, 1997; WELCH; BISHOP, 1995; HAMPEL et al., 1986). Por fim, a variável de controle processada e os valores brutos individuais são empacotados em um documento JSON (BRAY, 2017) e transmitidos via requisição HTTP POST para a API em Python Flask (GRINBERG, 2018), a qual persiste os dados de telemetria no banco relacional MySQL para monitoramento visual no painel web (FEW, 2013; SHNEIDERMAN et al., 2016).

5. CIRCUITO DE ACIONAMENTO DE ATUADORES DE POTÊNCIA

Enquanto o circuito de leitura cuida da captação de dados de entrada, o circuito de acionamento é responsável por executar o comando final de acionamento das cargas hidráulicas e elétricas de alta potência. A Figura 3 ilustra o diagrama esquemático do circuito de acionamento do sistema.

Figura 13: Circuito de acionamento dos relés de potência, motobomba principal e válvulas solenoides.



O circuito de acionamento utiliza os pinos de saída digital GPIO do ESP32 para comandar os módulos relé de potência. Cada canal do módulo relé possui um optoacoplador interno que isola galvanicamente o microcontrolador da rede de potência dos atuadores.

Quando o backend Flask indica que um setor deve ser irrigado, a GPIO correspondente do ESP32 é levada a nível lógico alto (3,3V), energizando o LED do optoacoplador e disparando o transistor de acionamento do relé. O contato seco do relé fecha o circuito de comando de 220V que alimenta a bobina da contatora magnética industrial. A contatora fecha seus contatos trifásicos de alta corrente, ligando a motobomba principal de 5,5 CV. Simultaneamente, outro canal do relé energiza a bobina da válvula solenoide do setor selecionado (Melão, Tomate, Pimentão ou Estufa), permitindo a passagem controlada da

água.

Para proteger os transistores e relés contra surtos de tensão provocados pela desenergização de cargas indutivas (como as bobinas das solenoides e contatores), o circuito integra diodos de roda livre (flyback diodes) em paralelo com os enrolamentos indutivos, dissipando a energia armazenada e garantindo longa vida útil ao painel de comando.

Com os circuitos de leitura e acionamento totalmente detalhados, o próximo capítulo aborda a especificação e o funcionamento do protocolo HTTP REST utilizado para integrar esse hardware à aplicação web central.

REFERÊNCIAS

BRAY, Tim. **The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format**. [S.l.], 2017. DOI: 10.17487/RFC8259. Disponível em: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8259.html>.

FEW, Stephen. **Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring**. 2. ed. Burlingame: Analytics Press, 2013.

GRINBERG, Miguel. **Flask Web Development: Developing Web Applications with Python**. 2. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2018.

HAMPEL, Frank R. et al. **Robust Statistics: The Approach Based on Influence Functions**. New York: John Wiley e Sons, 1986.

OPPENHEIM, Alan V.; SCHAFER, Ronald W. **Discrete-Time Signal Processing**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

SHNEIDERMAN, Ben et al. **Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction**. 6. ed. Boston: Pearson, 2016.

SMITH, Steven W. **The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing**. San Diego: California Technical Publishing, 1997.

WELCH, Greg; BISHOP, Gary. **An Introduction to the Kalman Filter**. [S.l.: s.n.], 1995.