

Relatório - Sistema Autônomo de Irrigação Alimentado por Energia Solar

Arthur Octávio Oliveira Confessor
arthur-confessor@hotmail.com

Departamento de Computação – IFMT campus Cuiabá - cel Octayde Jorge da Silva
Rua Zulmira Canavarros, 95 – 78.005-200 – Cuiabá – MT – Brazil

1 INTRODUÇÃO

A gestão eficiente da água é um desafio constante na agricultura e jardinagem, demandando soluções que otimizem o uso deste recurso vital e reduzam a necessidade de intervenção humana. No contexto de Cuiabá-MT, caracterizado por alta incidência solar, a utilização de sistemas automatizados alimentados por energia renovável se apresenta como uma solução promissora e sustentável.

Este relatório apresenta o projeto, a montagem e a análise de um sistema de irrigação autônomo, inteligente e de baixo custo. Ele utiliza energia solar para garantir sua completa independência energética, operando a partir de um microcontrolador PIC16F877A que monitora a umidade do solo em tempo real. Com base nos dados do sensor, o sistema decide o momento exato para acionar uma bomba d'água, aplicando irrigação apenas quando necessário e evitando desperdícios.

Ao longo deste trabalho, serão abordados os fundamentos teóricos dos componentes eletrônicos, a arquitetura de hardware e a lógica de software implementada, e, por fim, uma conclusão que avalia os resultados obtidos e discute as possibilidades de trabalhos futuros.

2 TEORIAS

2.1 PIC16F877A

O **PIC16F877A**, um microcontrolador de 8 bits da Microchip (Microchip Technology Inc., 2001), atua como a unidade central de processamento do sistema. Foi escolhido por seu balanço entre custo, baixo consumo e um robusto conjunto de periféricos, sendo responsável por executar a lógica de controle, inter-

pretando os dados dos sensores para acionar os atuadores. A pinagem do encapsulamento utilizado no projeto é detalhada na Figura 1.

Para este projeto, suas características mais importantes são:

- **Conversor Analógico-Digital (ADC):** Periférico crucial que converte o sinal analógico do sensor de umidade do solo em um valor digital processável.
- **Portas de Entrada/Saída (I/O):** Suas 33 portas garantem a fácil conexão de todos os componentes do sistema, como sensores, relés e o display.
- **Temporizadores (Timers):** Utilizados para controlar com precisão a duração dos ciclos de irrigação e a frequência das leituras.
- **Baixo Consumo:** Sua faixa de tensão de operação e os modos de economia de energia (*sleep mode*) são essenciais para a eficiência em um sistema alimentado por bateria e energia solar.



Figure 1: Microcontrolador PIC16F877A

2.2 Display LCD + I2C

Para fornecer uma interface homem-máquina (IHM) clara e eficiente, o sistema de irrigação autônomo utiliza um Display de Cristal Líquido (LCD) alfanumérico do tipo 16x2 (16 colunas por 2 linhas). Este componente é essencial para a exibição em tempo real de informações cruciais sobre o estado

do sistema, como as leituras de umidade do solo, o status da bomba d'água (ligada/desligada) e possíveis alertas.

Embora a maioria desses displays seja baseada no controlador padrão HD44780, que tradicionalmente requer uma conexão paralela de múltiplos fios, neste projeto optou-se por uma abordagem mais moderna e eficiente. Foi utilizado um módulo adaptador I²C acoplado ao display, como o ilustrado na Figura 2, para otimizar o uso dos pinos do microcontrolador PIC16F877A.



Figure 2: Módulo LCD 16x2 com o adaptador I²C (baseado no PCF8574) acoplado na parte traseira.

Este módulo, geralmente baseado no circuito integrado expander de I/O PCF8574 (Texas Instruments, 2023), atua como uma ponte, convertendo o protocolo de comunicação serial I²C, que utiliza apenas duas linhas de sinal — SDA (Serial Data) e SCL (Serial Clock) —, nos sinais paralelos que o controlador do LCD entende. O microcontrolador, atuando como mestre do barramento, envia todos os comandos e caracteres para o display através dessas duas linhas. Isso simplifica drasticamente a fiação e libera um número significativo de pinos do PIC16F877A, que podem ser aproveitados para conectar mais sensores e atuadores, tornando o projeto mais escalável e robusto.

2.3 Módulo Relé de Acionamento HL-52S

Para controlar a bomba d'água, que é uma carga de alta potência, utiliza-se um módulo relé de 2 canais modelo HL-52S, apresentado na Figura 3. Este módulo funciona como um interruptor eletrônico, permitindo que o microcontrolador PIC16F877A, com seu sinal de baixa tensão (5V), ligue e desligue um circuito de potência separada (por exemplo, 6V da bomba) de forma segura.

A principal característica deste módulo é a **isolação galvânica**, geralmente implementada com um optoacoplador (Shenzhen Songle Relay Co., Ltd., 2015). Essa barreira óptica protege o microcontrolador contra ruídos elétricos e surtos de tensão prove-

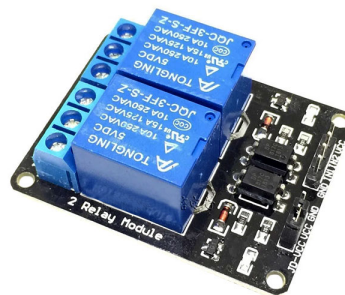


Figure 3: Módulo relé de 2 canais (HL-52S) utilizado para o acionamento da bomba d'água.

nientes do circuito da bomba, garantindo a integridade e estabilidade do sistema.

A interface é simples: um pino de saída digital do PIC é conectado à entrada do módulo (IN1). Ao enviar um sinal, o relé é acionado, fechando o contato entre os terminais COM e NO (Normalmente Aberto), onde a bomba d'água está conectada, permitindo assim o seu acionamento.

2.4 Sensor de Umidade do Solo (HW-103 / HW-080)

O sistema utiliza um sensor de umidade do solo do tipo resistivo (sonda HW-080 e módulo de controle HW-103), apresentado na Figura 4, para decidir quando irrigar. O funcionamento se baseia na medição da resistência elétrica do solo, que diminui com o aumento da quantidade de água. O módulo de controle processa essa variação de resistência, utilizando internamente um comparador de tensão como o LM393 (Texas Instruments, 2018).

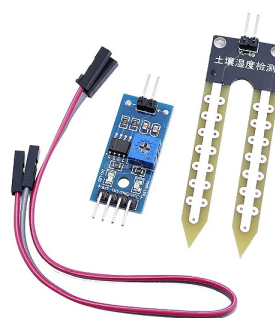


Figure 4: Kit do sensor de umidade do solo, composto pela sonda resistiva (garfo) e o módulo de controle.

Para uma medição precisa, o projeto utiliza a **saída analógica (AO)** do módulo, que fornece uma tensão variável. Este sinal é conectado a um canal do

Conversor Analógico-Digital (ADC) do microcontrolador PIC, permitindo uma leitura detalhada do nível de umidade em vez de um simples "seco/molhado".

2.5 Mini bomba submersível

O atuador responsável pelo bombeamento da água no sistema é uma Mini Bomba Submersível de Corrente Contínua (DC), como a mostrada na Figura 5. Este componente foi escolhido por ser compacto, eficiente e compatível com a alimentação de baixa tensão do projeto.



Figure 5: Mini bomba d'água submersível utilizada no projeto.

Suas principais especificações técnicas incluem uma tensão de operação de **3 a 6 V**, uma vazão de **80 a 120 litros por hora** e uma capacidade de elevação de água de **40 a 110 cm**, características adequadas para a aplicação de irrigação em pequena escala.

2.6 Painel Solar Fotovoltaico

A fonte primária de energia para o circuito de controle do sistema, que garante sua autonomia e caráter sustentável, é um painel solar fotovoltaico, como o apresentado na Figura 6. Este componente é responsável por converter a radiação solar diretamente em energia elétrica de corrente contínua (DC) através do efeito fotovoltaico. Para este projeto, foi selecionada uma placa com especificações de **6V** e **660mA**.

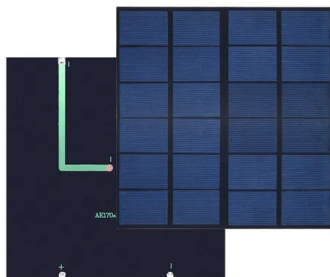


Figure 6: Pannel solar fotovoltaico de 6V e 660mA utilizado para carregar a bateria do circuito de controle.

As especificações nominais indicam o ponto de máxima potência (P_{max}) do painel sob condições de

teste padrão. O valor de 6V representa a tensão em máxima potência (V_{mp}), enquanto 660mA (ou 0,66A) representa a corrente em máxima potência (I_{mp}). A potência máxima teórica que o painel pode fornecer é calculada como:

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp} = 6V \times 0.66A = 3.96W$$

Essa potência de **3.96 Watts** foi dimensionada para ser suficiente para recarregar a bateria que alimenta exclusivamente o circuito de controle de baixo consumo. Esta carga inclui o microcontrolador PIC16F877A, os sensores de umidade do solo e o display LCD.

2.7 Alimentação Dedicada da Bomba Submersível

Para garantir a estabilidade do microcontrolador e evitar interferências elétricas, a alimentação da bomba submersível é independente do circuito de controle. Foi utilizado um suporte com **4 pilhas de 1.5V** conectadas em série, resultando em uma tensão nominal de **6V**, ideal para a faixa de operação da bomba.

Este circuito de potência de 6V é comandado pelo módulo relé. Quando o microcontrolador aciona o relé, ele permite que a energia das pilhas flua exclusivamente para a bomba, ligando-a sem afetar o circuito de controle, que é alimentado pelo sistema solar.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste projeto foi conduzido como uma pesquisa aplicada, com caráter de desenvolvimento de um protótipo experimental. A metodologia foi dividida em quatro etapas principais: levantamento e seleção de materiais, montagem do hardware, desenvolvimento do firmware de controle e, por fim, os testes de validação do sistema integrado.

3.1 Arquitetura de Hardware e Conexões

O hardware foi projetado em torno do microcontrolador **PIC16F877A**, que centraliza todas as operações. As conexões dos periféricos foram mapeadas para pinos específicos para otimizar a funcionalidade do sistema:

- **Entrada de Dados (Sensor):** O sinal analógico proveniente do módulo do sensor de umidade do solo foi conectado ao pino **RA0**, que foi configurado como o canal 0 do Conversor Analógico-Digital (ADC) do PIC.

- **Saída de Controle (Atuador):** O acionamento da bomba d'água foi gerenciado através do pino **RB0**, configurado como saída digital. Este pino foi conectado à porta de controle IN1 do módulo relé.
- **Interface com o Usuário (Display):** A comunicação com o display LCD foi implementada via protocolo I²C para economizar pinos. Foram utilizados os pinos **RC4** como linha de dados (SDA) e **RC3** como linha de clock (SCL).

3.2 Implementação da Lógica de Controle (Firmware)

O firmware do sistema foi desenvolvido em Linguagem C, utilizando o compilador CCS C. A lógica de programação, visível no código-fonte, foi estruturada para garantir um controle eficiente e um feedback claro ao usuário.

Inicialização: Ao ligar, o programa configura os pinos do microcontrolador (`set_tris_a`, `set_tris_b`), inicializa o periférico ADC e o display LCD. O relé é intencionalmente colocado em estado de repouso (`output_high(RELE_PIN)`), garantindo que a bomba permaneça desligada ao iniciar.

Calibração e Mapeamento: Uma etapa crucial da metodologia foi a calibração do sensor. Através de testes empíricos, foram definidos no código os valores de ADC correspondentes ao solo seco e encharcado:

- **ADC_SECO (valor 255):** Referência para solo com máxima resistência.
- **ADC_ENCHARCADO (valor 79):** Referência para solo com mínima resistência.

Com base nestes limites, o valor bruto lido pelo ADC (`adc_val`) é convertido para uma porcentagem de umidade (0-100%) através de uma interpolação linear, expressa pela fórmula: O valor bruto do ADC (`adc_val`) é convertido para uma porcentagem de umidade (0-100%) através da fórmula de interpolação linear:
$$\text{Umidade (\%)} = 100 \times \frac{(\text{ADC_SECO} - \text{adc_val})}{(\text{ADC_SECO} - \text{ADC_ENCHARCADO})}$$

Lógica de Decisão: O núcleo do controle reside na comparação do valor lido do sensor com um limiar de acionamento (`LIMITE_SECO = 230`). Se `adc_val >= LIMITE_SECO`, o firmware envia um sinal de nível BAIXO para o pino do relé (`output_low`), ativando-o (lógica ativa-baixa) e ligando a bomba. Caso contrário, envia um sinal de nível ALTO, desativando o relé.

Otimização da Interface: Para evitar o efeito de "piscar" (flickering) no display e otimizar o processamento, a linha de status ("Solo seco" ou "Solo

umido") só é atualizada quando há uma mudança de estado em relação ao ciclo anterior, uma técnica controlada pela variável `estado_anterior`.

3.3 Projeto do Sistema de Alimentação

A metodologia de alimentação adotou uma arquitetura com duas fontes independentes para garantir a máxima estabilidade do sistema, isolando o circuito de controle do ruído elétrico da bomba.

Circuito de Controle: Para garantir a autonomia e longevidade, o circuito do PIC e seus sensores é alimentado por **duas baterias de Lítio-Íon modelo 18650 (3.7V) ligadas em paralelo**. A ligação em paralelo foi escolhida para somar as capacidades (mAh), aumentando o tempo de autonomia. A recarga deste banco de baterias é gerenciada por um módulo **TP4056**, que recebe energia da placa solar e também protege as baterias contra descarga completa. Como os componentes exigem 5V, um **módulo elevador de tensão (booster/step-up)** foi posicionado após o TP4056 para converter os 3.7V da bateria para 5V estáveis.

Circuito de Potência: A bomba d'água, por sua vez, é alimentada por um circuito de potência dedicado e isolado, composto por um suporte com 4 pilhas de 1.5V, que é comutado pelo módulo relé.

3.4 Validação do Controle de Irrigação e Interface

O principal resultado prático do projeto foi a **validação inequívoca do ciclo de controle em malha fechada**, cujo funcionamento foi documentado em vídeo. Durante o experimento, o sistema executou com precisão sua função principal: ao detectar o solo seco, o firmware acionou a bomba de água através do relé e, crucialmente, desativou-a de forma autônoma assim que o sensor registrou o aumento da umidade proveniente da própria irrigação. A demonstração está disponível para visualização <https://youtu.be/i5js025DMyw> neste link.

Simultaneamente ao controle do atuador, o display LCD forneceu um feedback visual claro e em tempo real, informando corretamente o estado do solo (ex: "Solo seco Irrig." ou "Solo umido") e a porcentagem de umidade correspondente, calculada a partir dos parâmetros de calibração do firmware.

A discussão destes resultados confirma o sucesso na integração entre o hardware montado e o software desenvolvido. A lógica de controle baseada no limiar de umidade (`LIMITE_SECO`) foi validada como uma estratégia robusta para a tomada de decisão autônoma. O teste prático, portanto, comprova que o protótipo

cumpra integralmente os objetivos de automação e de interface propostos.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho conclui com sucesso o ciclo completo de desenvolvimento, montagem e validação de um protótipo funcional de um sistema de irrigação autônomo, de baixo custo e energeticamente independente. O projeto demonstrou na prática, conforme validado em ensaios experimentais, a viabilidade de se automatizar a gestão hídrica em pequena escala utilizando componentes eletrônicos acessíveis e energia renovável.

O sucesso do protótipo se fundamenta em **conquistas técnicas específicas** que foram implementadas e validadas. A principal delas foi a **arquitetura de alimentação desacoplada**, que se provou uma estratégia crucial para a estabilidade do sistema ao isolar o microcontrolador do ruído elétrico da bomba. Adicionalmente, o desenvolvimento de um **firmware robusto** permitiu não apenas a execução confiável da lógica de decisão, mas também a tradução precisa dos dados do sensor em uma interface clara e informativa para o usuário no display LCD.

O êxito funcional deste protótipo estabelece uma base sólida para futuras evoluções. As limitações identificadas, como a durabilidade do sensor resistivo, abrem caminho para aprimoramentos diretos, como a adoção de sensores capacitivos. A evolução mais impactante, contudo, seria a **adição de conectividade IoT (Internet das Coisas)**. Essa implementação transformaria o sistema em uma plataforma inteligente, permitindo não apenas o controle remoto, mas também a **coleta e análise de dados históricos** para otimizar os ciclos de irrigação e o consumo de água, alinhando o projeto aos conceitos da Agricultura 4.0.

Em suma, o projeto não apenas entrega um sistema que funciona, mas valida uma solução de engenharia prática. Ele se firma como uma ferramenta para a automação agrícola e a gestão eficiente de recursos hídricos, demonstrando como a tecnologia pode aproveitar de forma inteligente os recursos energéticos abundantes da região de Cuiabá para enfrentar desafios locais.

REFERENCES

Microchip Technology Inc. (2001). PIC16F87XA Data Sheet: 28/40/44-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcon-

trollers. Technical report, Microchip Technology Inc., Chandler, AZ. Documento DS30487C.

Shenzhen Songle Relay Co., Ltd. (2015). SRD Relay Datasheet. Technical report, Shenzhen Songle Relay Co., Ltd., Shenzhen, China. Datasheet para o relé SRD-05VDC-SL-C, componente central encontrado na maioria dos módulos de relé de 5V, incluindo o HL-52S.

Texas Instruments (2018). LMx93, LM2903 Dual Differential Comparators Datasheet. Technical report, Texas Instruments, Dallas, TX. Datasheet SLCS005U. O LM393 é o comparador de tensão padrão usado no módulo de controle do sensor de umidade.

Texas Instruments (2023). PCF8574 Remote 8-Bit I/O Expander for I²C Bus. Technical report, Texas Instruments, Dallas, TX. Datasheet SCPS068S - Revised.