

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICO POR PIVÔ CENTRAL: EFICIÊNCIA E INOVAÇÃO NO AGRONEGÓCIO

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.077132512024>

Data de aceite: 18/02/2025

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná , PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica CP/
PG, Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Vitor Blanc Milani

Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Mestrando - PPGEM-CP
- Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica CP/PG
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4504374098250296>

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná , Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8619727190271505>

Marcos Antônio de Matos Laia

Universidade Federal de São Joao Del Rei
Departamento De Ciência Da Computação
- UFSJ, Minas Gerais - MG
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Centro Estadual de Educação Tecnológica
Paula Souza, Etec Jacinto Ferreira de Sá -
Ourinhos , Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

Odair de Aquino Campos

Centro Estadual de Educação Tecnológica
Paula Souza, Etec Jacinto Ferreira de Sá -
Ourinhos , Ourinhos - SP
<https://lattes.cnpq.br/7007370518188159>

José Domingos Torini

Centro Estadual de Educação Tecnológica
Paula Souza, Etec Jacinto Ferreira de Sá -
Ourinhos , Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/7917231817721868>

Augusto Florencio Dias Neto

Centro Estadual de Educação Tecnológica
Paula Souza, Etec Jacinto Ferreira de Sá -
Ourinhos , Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/6743829908494175>

Tiago de Brito Thomé

Centro Estadual de Educação Tecnológica
Paula Souza, Etec Jacinto Ferreira de Sá -
Ourinhos , Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/4435734515530010>

Annabelle Campeão

Discente - Centro Estadual de Educação
Tecnológica Paula Souza, Etec Jacinto
Ferreira de Sá – Ourinhos , Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/7536258074292350>

Dagny Vaz

Discente - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Etec Jacinto Ferreira de Sá – Ourinhos , Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/9049176455173377>

João Otávio Venceslau Morais

Discente - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Etec Jacinto Ferreira de Sá – Ourinhos , Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/1748138174534967>

Yasmin Rodrigues Pedaes

Discente - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Etec Jacinto Ferreira de Sá – Ourinhos , Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/0143899725446811>

RESUMO: o deslocamento das torres de irrigação e acionar a bomba de água automaticamente, contando com algoritmos PID para assegurar alta precisão. Além de reduzir o desperdício hídrico e os custos operacionais, a solução se mostra estratégica no enfrentamento de desafios como este estudo apresenta o desenvolvimento de um sistema de irrigação automático por pivô central, evidenciando sua eficiência, inovação tecnológica e impacto positivo no agronegócio. Com o objetivo de otimizar o uso de recursos hídricos, promovendo sustentabilidade e maior produtividade agrícola, o projeto abrangeu desde o design de componentes no SolidWorks e sua fabricação por impressão 3D, até a integração de sensores, motores e programação em C++ para automação. O protótipo demonstrou eficácia ao monitorar a umidade do solo em tempo real, controlar estiagens e na adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. Dessa forma, este trabalho destaca o papel fundamental de tecnologias avançadas e abordagens interdisciplinares na modernização do agronegócio e abre caminhos para investigações futuras, especialmente em maior escala e em termos de impacto econômico e ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação automática, Sustentabilidade agrícola, desenvolvimento tecnológico.

AUTOMATIC IRRIGATION SYSTEM USING CENTER PIVOT: EFFICIENCY AND INNOVATION IN AGRIBUSINESS

ABSTRACT: This study presents the development of an automatic central pivot irrigation system, highlighting its efficiency, technological innovation, and positive impact on agribusiness. Aiming to optimize water resource usage, promote sustainability, and increase agricultural productivity, the project ranged from designing components in SolidWorks and manufacturing them via 3D printing to integrating sensors, motors, and C++ programming for automation. The prototype proved effective by monitoring soil moisture in real-time, controlling the movement of irrigation towers, and automatically activating the water pump, relying on PID algorithms to ensure high precision. In addition to reducing water waste and operational costs, the solution proves strategic in addressing challenges such as droughts and promoting more sustainable agricultural practices. In this context, the study highlights the fundamental role of advanced technologies and interdisciplinary approaches in modernizing agribusiness. It opens pathways for future research regarding economic and environmental impacts, particularly on a larger scale.

KEYWORDS: Automatic irrigation, Agricultural sustainability, Technological development.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, a irrigação tem sido um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento da agricultura e o sustento das sociedades humanas. Evidências históricas mostram que, já por volta de 6.000 a.C., civilizações como o Egito e a Mesopotâmia utilizavam sistemas de canais e diques para direcionar a água para áreas agrícolas, permitindo o cultivo em regiões áridas e semiáridas e impulsionando o florescimento social e econômico dessas sociedades” (EMBRAPA, 2017).

No entanto, com o passar dos séculos, o aumento da demanda por alimentos e a escassez crescente de recursos naturais impulsionaram a evolução de sistemas mais eficientes, levando ao desenvolvimento de tecnologias avançadas, como o sistema de irrigação por pivô central.

No contexto da agricultura moderna, a gestão eficiente da água é um dos maiores desafios enfrentados por produtores e governos. O desperdício de recursos hídricos não apenas onera financeiramente os agricultores, mas também agrava problemas ambientais, como a redução dos lençóis freáticos e a degradação de ecossistemas. Nesse cenário, a adoção de sistemas de irrigação automatizados se apresenta como uma solução estratégica para conciliar produtividade agrícola com sustentabilidade ambiental (OLIVEIRA et al., 2024).

O sistema de irrigação por pivô central é um exemplo emblemático dessa inovação tecnológica. Projetado para irrigar grandes áreas de forma uniforme e precisa, ele combina simplicidade estrutural com alta eficiência operacional. A tecnologia permite o controle automatizado do fornecimento de água, ajustando-se às necessidades específicas do solo e das culturas, o que reduz significativamente o desperdício e aumenta a produtividade (Bauer, 2024). Além disso, sua integração com sensores e sistemas de monitoramento em tempo real possibilita uma gestão mais inteligente dos recursos hídricos, promovendo economia e sustentabilidade.

O uso de tecnologias como o Arduino e sensores específicos representa um marco importante na automação da agricultura. Esses dispositivos permitem que o sistema monitore o solo em tempo real, detectando níveis de umidade e acionando automaticamente a bomba de água e as torres móveis. Isso não apenas economiza recursos hídricos, mas também reduz a necessidade de mão de obra intensiva, permitindo que os produtores foquem em outras áreas do manejo agrícola.

A história e a evolução dos sistemas de irrigação reforçam a relevância deste projeto. Desde as primeiras obras de engenharia hidráulica, como os diques e canais construídos sob o reinado de Ramsés III no Egito Antigo, até os métodos modernos, a irrigação desempenhou um papel vital na transformação da agricultura global. Os sistemas de pivô central, desenvolvidos inicialmente na década de 1950, revolucionaram o setor agrícola, permitindo a irrigação em grande escala de forma eficiente e econômica (OLIVEIRA; HERNANDEZ, 2022). Com a incorporação de tecnologias digitais, como sensores inteligentes e softwares de controle, o pivô central se tornou ainda mais versátil e acessível.

Além de sua aplicação prática, o sistema de pivô central tem implicações significativas para o desenvolvimento socioeconômico. Ele é especialmente relevante em regiões que enfrentam desafios climáticos, como períodos prolongados de seca. A adoção dessa tecnologia pode garantir a segurança alimentar, reduzir os impactos das mudanças climáticas na produção agrícola e gerar empregos em setores relacionados à fabricação, instalação e manutenção de equipamentos de irrigação (PETRY; MARTINS; GIACOMELI, 2021).

Os impactos positivos do sistema não se limitam ao aumento da produtividade. O controle preciso da irrigação permite que os agricultores integrem outros processos, como a fertirrigação, em que nutrientes dissolvidos são aplicados diretamente junto à água, otimizando o crescimento das culturas. Essa prática contribui para a obtenção de produtos de maior qualidade, aumento no número de safras anuais e redução dos custos de produção, fortalecendo a competitividade do agronegócio em um mercado globalizado (TESTEZLAF, 2017).

Apesar de seus benefícios, o sistema de pivô central também apresenta desafios e limitações. Ele é mais viável economicamente em áreas acima de 50 hectares, o que pode dificultar sua implementação por pequenos produtores. Além disso, fatores como a influência de ventos na uniformidade da irrigação e a necessidade de terrenos planos devem ser considerados durante a instalação e operação do sistema (BARBOSA et al., 2023).

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo funcional de sistema de irrigação automático por pivô central. A construção do protótipo foi guiada por uma abordagem interdisciplinar, envolvendo engenharia mecânica, elétrica e computacional. A estrutura física foi projetada no software SolidWorks, permitindo precisão no design e adaptação às especificações do projeto. Componentes como sensores de umidade, relés, motores e microcontroladores Arduino foram integrados ao sistema, garantindo automação completa e funcionalidade prática. Além disso, foram utilizadas impressoras 3D para a fabricação das torres e bases, enquanto tubos de PVC serviram como condutores principais da água.

Ao integrar história, tecnologia e prática, este estudo destaca o papel da irrigação automatizada como uma ferramenta essencial para o futuro da agricultura. Em um mundo onde os recursos naturais se tornam cada vez mais escassos, soluções como o sistema de pivô central não apenas aumentam a eficiência das operações agrícolas, mas também contribuem para um manejo mais responsável e consciente dos recursos hídricos, fortalecendo o agronegócio como um pilar para o desenvolvimento sustentável.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, apresenta-se uma análise das principais teorias, conceitos e estudos relacionados ao tema de sistemas de irrigação, com ênfase no método de pivô central. O objetivo é contextualizar o desenvolvimento histórico da irrigação, destacar as inovações tecnológicas que possibilitaram maior eficiência e sustentabilidade no uso dos recursos hídricos, e examinar os avanços recentes que integram automação e monitoramento inteligente. A revisão abrange obras acadêmicas, artigos científicos e estudos técnicos que oferecem fundamentos teóricos e práticos para a compreensão e aplicação do sistema de irrigação por pivô central no agronegócio moderno.

Sistema Convencional de Irrigação por Aspersão

O sistema convencional de irrigação por aspersão é amplamente utilizado na agricultura devido à sua simplicidade estrutural e eficiência na distribuição de água. Este método utiliza uma motobomba que capta água de fontes como rios, reservatórios ou poços, conduzindo-a por tubulações até os aspersores. Estes, por sua vez, pulverizam a água em gotas finas, simulando a chuva e garantindo uma cobertura uniforme da área cultivada (BISCARO, 2009).

Uma característica importante do sistema de irrigação por aspersão é sua ampla aplicabilidade em diferentes tipos de terreno e culturas. Por não exigir a sistematização do solo, ele pode ser instalado em áreas com topografias variadas, como terrenos planos ou com leves inclinações. Além disso, o sistema convencional é capaz de atender a uma grande diversidade de culturas agrícolas, o que o torna uma solução versátil para produtores que lidam com diferentes tipos de plantio (ANDRADE; BRITO, 2006).

Entre os principais benefícios do sistema convencional de aspersão está a uniformidade da irrigação, ou seja, a capacidade de distribuir a água de maneira equilibrada em toda a área irrigada. Essa característica é essencial para garantir um crescimento homogêneo das plantas e evitar déficits hídricos em partes do cultivo. Outro aspecto relevante é a possibilidade de integração com práticas como a fertirrigação, em que fertilizantes e agroquímicos são dissolvidos na água de irrigação, facilitando a aplicação e otimizando o uso de insumos agrícolas (COELHO; COELHO FILHO; OLIVEIRA, 2022).

Segundo Andrade e Brito (2006), o sistema convencional de irrigação por aspersão, apesar de suas vantagens, apresenta limitações importantes. A influência do vento pode desviar as gotas de água, comprometendo a uniformidade da irrigação, especialmente em regiões mais ventosas. Além disso, o molhamento completo do solo pode favorecer o surgimento de plantas daninhas, exigindo maior manejo e controle. Também há o risco de lavagem de defensivos agrícolas se o sistema não for operado com planejamento adequado.

Segundo Biscaro (2009), o consumo de energia é um ponto que merece atenção no sistema convencional de irrigação por aspersão. A operação da motobomba e dos aspersores demanda uma quantidade significativa de energia elétrica ou combustíveis fósseis, o que pode resultar em custos elevados, dependendo da região e do acesso à energia. Além disso, a altura das culturas, como milho ou cana-de-açúcar, pode afetar a eficiência do sistema, pois aspersores mal ajustados podem ter sua atuação bloqueada pelas plantas.

De maneira geral, o sistema convencional de aspersão é uma alternativa eficiente e de ampla aplicação na agricultura, sendo indicado principalmente para produtores que precisam irrigar grandes áreas de maneira uniforme e prática. No entanto, sua utilização deve ser acompanhada por um planejamento técnico adequado para mitigar limitações e maximizar seus benefícios.

Sistema de Irrigação por Pivô Central

O sistema de irrigação por pivô central é amplamente utilizado na agricultura devido à sua eficiência e capacidade de atender grandes áreas de cultivo. Segundo Frizzzone et al. (2012), este sistema é caracterizado por uma base fixa que serve como ponto central para a sucção da água. A água é transportada por uma linha lateral de tubos, sustentada por torres em formato de “A” equipadas com rodas em suas extremidades. Essas torres permitem a movimentação radial do sistema em torno do pivô, cobrindo toda a área de cultivo de maneira uniforme. A velocidade de deslocamento do sistema é ajustável e interfere diretamente na quantidade de água aplicada, conhecida como lâmina de irrigação.

Esse sistema é comumente utilizado em áreas que variam de 50 a 70 hectares, sendo especialmente vantajoso para terrenos planos. Segundo Andrade e Brito (2006), uma de suas principais características é a facilidade de automatização, o que possibilita maior controle do processo de irrigação. Além disso, o sistema oferece alta uniformidade na distribuição da água e permite uma frequência elevada de irrigação, garantindo que as plantas recebam o volume necessário de água em períodos mais curtos. A simplicidade operacional é outro ponto positivo, tornando sua instalação e manutenção mais fáceis em comparação a outros sistemas, como a irrigação localizada ou o método de aspersão convencional. Adicionalmente, o custo por área irrigada pode ser até 60% menor em relação a outros métodos, tornando o pivô central uma solução economicamente vantajosa para produtores com áreas grandes.

No entanto, o sistema de pivô central apresenta algumas limitações importantes. Segundo Andrade e Brito (2006), uma delas é a taxa de aplicação da água, que pode ser elevada no final da linha de irrigação, especialmente em sistemas muito extensos. Isso pode resultar em escoamento superficial, desperdício de água e dificuldade no manejo. Outra desvantagem mencionada pelos autores é a perda de até 20% da área cultivável devido ao formato circular do deslocamento radial, o que pode ser um fator limitante para pequenos produtores. Além disso, o sistema exige áreas livres de obstáculos para operar adequadamente, o que pode restringir sua aplicação em terrenos mais complexos.

A uniformidade do sistema também pode ser afetada por condições climáticas, como ventos fortes, que interferem na distribuição da água. Por fim, embora o pivô central seja altamente eficiente em áreas maiores que 50 hectares, seu custo de instalação inicial o torna inviável para pequenos agricultores, limitando sua adoção em propriedades menores.

De maneira geral, o sistema de pivô central é uma solução robusta e eficiente para a irrigação em larga escala, combinando avanços tecnológicos e simplicidade operacional. Segundo Frizzone et al. (2012), apesar de suas limitações, ele é amplamente utilizado em todo o mundo devido à sua capacidade de otimizar o uso de água, melhorar a produtividade agrícola e reduzir os custos de operação em áreas extensas.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema de irrigação automático por pivô central envolveu etapas que vão desde o planejamento inicial, com definição de requisitos técnicos e estruturais, até a construção mecânica (usando SolidWorks e impressão 3D), integração eletroeletrônica (com sensores de umidade, motores DC, ponte H L293D e Arduino Mega) e programação em C++ (incluindo algoritmos PID). Na fase mecânica, ajustou-se a curvatura das torres para permitir o movimento circular e perfurou-se o cano de PVC para garantir a saída uniforme de água. Já na parte eletroeletrônica, conectou-se o sensor de umidade ao microcontrolador para acionar a bomba e regular o giro das torres conforme a necessidade de irrigação. Testes de uniformidade, estabilidade e leitura de dados confirmaram a eficácia do protótipo, evidenciando que esse tipo de automação requer abordagem interdisciplinar, do design à programação, constituindo uma base promissora para aumentar a eficiência hídrica e a produtividade agrícola.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O desenvolvimento do sistema de irrigação automático por pivô central foi conduzido a partir de uma abordagem estruturada, que contemplou a concepção, a construção e a integração de diferentes subconjuntos mecânicos, eletroeletrônicos e computacionais. Cada etapa do projeto foi planejada com o objetivo de garantir a funcionalidade e eficiência do sistema, respeitando as especificações técnicas e os desafios apresentados. Para isso, o trabalho foi dividido em capítulos que detalham o desenvolvimento dos principais subconjuntos: a estrutura mecânica, responsável pela sustentação e movimentação do sistema; os circuitos eletroeletrônicos, encarregados de controlar e automatizar os processos; e a programação do software, que integra os componentes e possibilita a operação do sistema de forma inteligente e precisa. Essa divisão permitiu que cada subconjunto fosse analisado e aprimorado individualmente, garantindo a funcionalidade completa do protótipo.

Desenvolvimento Mecânico

O desenvolvimento mecânico do sistema de irrigação automático por pivô central constituiu uma etapa fundamental no processo de construção do protótipo, demandando planejamento detalhado e execução técnica precisa. A modelagem computacional dos componentes foi realizada utilizando o software SolidWorks, que permitiu a criação de projetos tridimensionais com alta precisão, otimizando o design para atender às exigências estruturais e funcionais do sistema, conforme figura 1.

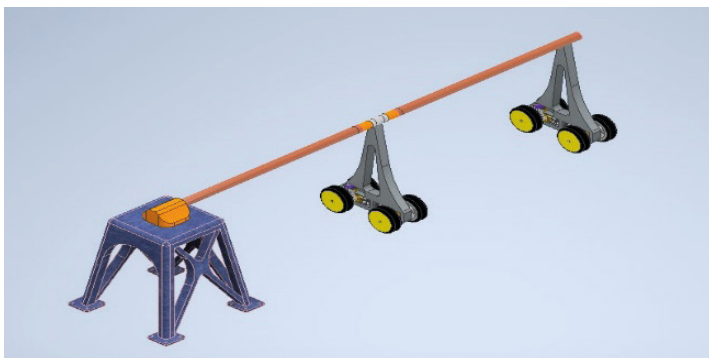


Figura 1: Modelagem computacional do projeto no SolidWorks.

A base foi fabricada por meio de impressão 3D, conforme observa-se na Figura 2. Uma bomba de água Kawashima com capacidade de 180 litros por hora (12V) foi utilizada para fornecer o fluxo e a pressão necessários para a irrigação, sendo acionada automaticamente sempre que o sensor de umidade detectasse níveis insuficientes de água no solo.



Figura 2: Base e bomba adaptados para o projeto.

Para o transporte e distribuição da água, foi utilizado um cano de PVC com 1 metro de comprimento e 20 mm de diâmetro externo, conforme figura 3, cortado ao meio para melhor integração com o sistema. Nas extremidades do cano, pequenos pedaços de mangueira foram fixados utilizando cola PVC e cola plástica, proporcionando vedação adequada e resistência contra vazamentos sob pressão. O cano também foi finalizado com um cap tampão de PVC para garantir o fechamento seguro do sistema.



Figura 3: Tubo plástico utilizado no irrigador.

As torres, também projetadas no SolidWorks e fabricadas em impressão 3D, foram equipadas com motores DC de 3 a 6V em sua parte inferior, permitindo a movimentação das rodas em quatro direções. Os motores foram conectados ao sistema eletrônico utilizando cabos manga, que foram direcionados à ponte H e posteriormente ao Arduino. Para maior segurança e organização, as conexões dos cabos nas torres foram fixadas com enforcamentos.



Figura 4: Torre de sustentação

Adicionalmente, a base foi preparada com furos posicionados estrategicamente para acomodar dois sensores de fim de curso, responsáveis por delimitar o início e o fim do ciclo de irrigação. As conexões dos sensores foram soldadas com precisão, utilizando os terminais de contato N.O (normalmente aberto) e N.A (normalmente fechado), garantindo uma operação confiável e contínua.

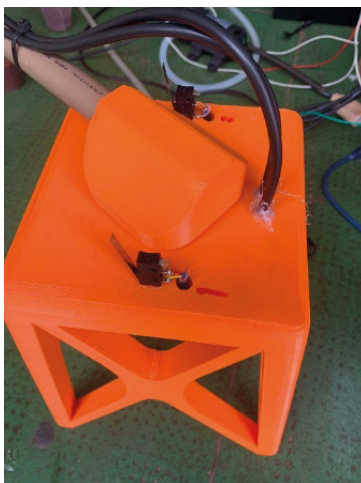


Figura 5: Protótipo da base com furos e fim de curso.

O desenvolvimento mecânico do sistema de irrigação automático por pivô central foi fundamental para garantir a estabilidade estrutural e a funcionalidade do protótipo. Desde o planejamento inicial no *SolidWorks* até a fabricação das peças em impressão 3D, cada componente foi cuidadosamente projetado para atender às demandas de movimentação, irrigação uniforme e resistência sob pressão. A integração da base, torres e canos de PVC resultou em um sistema robusto, capaz de operar de forma eficiente em condições controladas. O processo evidenciou a importância de soluções mecânicas bem planejadas, que são essenciais para o sucesso de sistemas automatizados, especialmente em aplicações agrícolas.

Desenvolvimento Eletrônico

O texto descreve o desenvolvimento eletrônico de um sistema de irrigação automático por pivô central, enfatizando a integração de sensores (como o Higrômetro de umidade do solo), atuadores e o microcontrolador Arduino Mega 2560. O sensor funciona pela variação de resistividade elétrica do solo, gerando sinais diferentes para solo seco (+900) e úmido (-600), o que permite acionar e desligar a bomba de água conforme a necessidade. O Arduino Mega 2560 foi escolhido por oferecer grande número de entradas e saídas digitais, assim como entradas analógicas, atendendo à complexidade e flexibilidade demandadas pelo projeto.

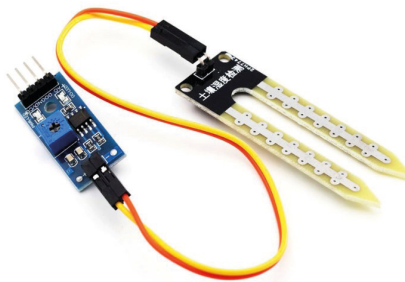


Figura 6: Sensor de umidade do solo higrômetro.

Sua robustez e compatibilidade com o restante do sistema foram determinantes para viabilizar o controle integrado de todos os elementos do protótipo.

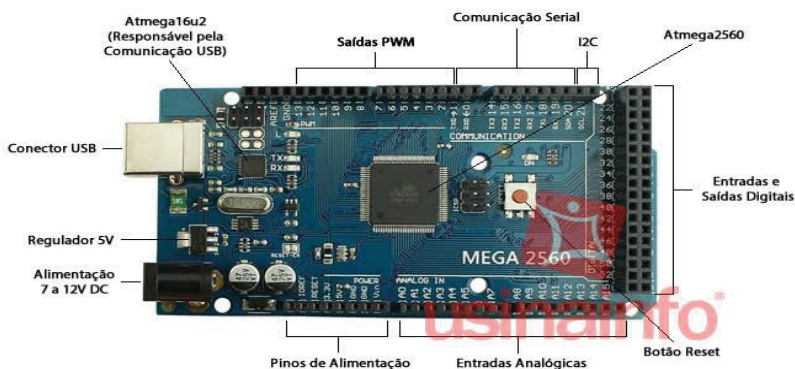


Figura 7: Arduino Mega 2560.

A ponte H modelo L293D foi utilizada como controlador de motores, componente, amplamente aplicado em sistemas de automação direto no Arduino.

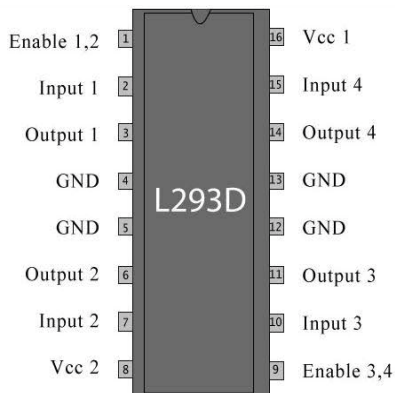


Figura 8: Ponte H L293D.

O acionamento da bomba de água no sistema de irrigação automático por pivô central utilizou um módulo relé de 1 canal, controlado pelo Arduino, garantindo precisão e segurança. O relé, capaz de operar com cargas de até 220 VAC, inclui um LED indicador para monitoramento fácil.

O desenvolvimento eletrônico integrou sensores, atuadores e o microcontrolador, permitindo automação confiável e eficiente. A seleção estratégica dos componentes e o uso de conceitos avançados de eletrônica e programação asseguraram a funcionalidade do sistema, destacando a importância da eletrônica para a inovação em sistemas agrícolas automatizados.

CONCLUSÃO

O protótipo de irrigação automático por pivô central demonstrou a importância de todas as etapas do processo, desde o domínio técnico até a automação, comprovando sua eficácia ao irrigar a área de forma precisa e pontual. Ao enfrentar desafios como estiagens severas e desperdício de água, o sistema mostrou ser uma solução estratégica para melhorar a produtividade e a competitividade do agronegócio, viabilizando o uso mais eficiente dos recursos naturais. Dessa forma, evidencia-se seu papel essencial na modernização e na sustentabilidade das práticas agrícolas, alinhando-se às demandas de um mercado cada vez mais exigente.

Futuros trabalhos contemplam a análise da eficiência hídrica em diferentes solos e culturas, considerando a uniformidade de distribuição da água. Eles abrangem ainda estudos de economia de recursos, comparando a eficiência do pivô central com métodos tradicionais de irrigação. No campo tecnológico, propõe-se a integração de IoT e IA para otimizar o monitoramento em tempo real e o consumo de água. A investigação do impacto ambiental também se mostra fundamental, abrangendo conservação hídrica, saúde do solo e biodiversidade. Outro foco é o estudo econômico do sistema, medindo o retorno do investimento para diferentes escalas de produção. Visando cenários futuros, recomenda-se pesquisar sua resiliência frente às mudanças climáticas, como alteração no regime de chuvas. Por fim, a capacitação técnica de agricultores e profissionais surge como elemento-chave para ampliar o acesso à inovação e fortalecer sua aplicação.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Camilo de Lelis Teixeira de; BRITO, Ricardo Augusto Lopes. **Métodos de Irrigação e Quimigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490418/1/Circ86.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025.

BARBOSA, Andre Henrique Vieira Da Silva; GONÇALVES, Weiber Da Costa; GABRIEL, Gustavo Heitor; OLIVEIRA, Irtes Aparecida Barros; MENDONÇA, Livia Peres Carneiro de. **Irrigação por Pivô Central: Vantagens e Desvantagens deste Sistema no Noroeste de Minas Gerais**. UniAtenas, 2023. Disponível em: https://www.uniatenas.edu.br/assets/files/magazines/1/IRRIGACAO_POR_PIVO_CENTRAL_vantagens_e_desvantagens_este_sistema_no_Noroeste_de_Minas_Gerais.pdf. Acesso em: 18 jan. 2025.

BAUER Brasil. **Tecnologia**. Disponível em: <https://www.bauer-br.com/pt/tecnologia/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

BISCARO, Guilherme Augusto. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados: Editora UFGD, 2009. Disponível em: <https://omp.ufgd.edu.br/omp/index.php/livrosabertos/catalog/book/49>. Acesso em: 20 jan. 2025.

COELHO, Eugênio Ferreira; COELHO FILHO, Mauricio Antônio; OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes. **Fertirrigação**. In: COELHO, Eugênio Ferreira; COELHO FILHO, Mauricio Antônio; OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes (Ed.). **Mamoeiro do Grupo Solo – Cultivo, colheita, pós-colheita e comercialização**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Cap. 8, p. 121-126. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1143983/1/Capitulo8-MamoeiroGrupoSolo-Mauricio-Eugenio-Arlene-AINFO.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.

EMBRAPA. **História e importância da irrigação**. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 25 jan. 2025.

FRIZZONE, José Antônio; FERRAREZI, Rhuan Sérgio; ANDRADE, Renata Gonçalves; FARIA, Lúcio Cláudio de. **Irrigação por Aspersão: Sistema Pivô Central**. Maringá: EDUEM, 2012. Disponível em: <https://old.periodicos.uem.br/~eduem/novapagina/?q=node%2F693>. Acesso em: 06 jan. 2025.

OLIVEIRA, Daniela Araujo de; HERNANDEZ, Fernando Braz Tangerino. **Análise da evolução da irrigação por pivô central no Noroeste Paulista. Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 44, v. 2, p. 122-139, mai.-ago. 2022. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br>. Acesso em: 22 jan. 2025.

OLIVEIRA, R. A. P.; ROCHA, L. O. S.; GUIMARÃES, C. R. R. **Exploração do uso eficiente de recursos hídricos na agricultura: Investigação de técnicas de irrigação e tecnologias para a minimização do desperdício de água**. Revista Foco, v. 17, n. 4, e4950, 2024.

PETRY, Mirta T.; MARTINS, Juliano D.; GIACOMELI, Robson. **O avanço da irrigação por aspersão em áreas de lavoura: desafios e fatores limitantes. Plantio Direto**, 30 jun. 2021. Disponível em: <https://plantiodireto.com.br/artigos/5>. Acesso em: 24 jan. 2025.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: FEIS/UNESP, 2017. Disponível em: https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf_irrigacao_metodos_sistemas_aplicacoes_2017.pdf. Acesso em: 16 jan. 2025.