

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DA PARAIBA CAMPUS PRINCESA ISABEL  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL**

**DANIELY SILVA LIMA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE  
BAIXO CUSTO PARA AGRICULTURA FAMILIAR**

**PRINCESA ISABEL**

**2026**

DANIELY SILVA LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE  
BAIXO CUSTO PARA AGRICULTURA FAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso (monografia)  
apresentada ao Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito  
obrigatório à obtenção do Título de Tecnólogo em  
Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Me. Artur Moisés Gonçalves  
Lourenço

PRINCESA ISABEL

2026

Lima, Daniely Silva.

L732d Desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo para agricultura familiar/ Daniely Silva Lima. - 2026.  
48 f : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Gestão Ambiental)  
– Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
Princesa Isabel, 2026.

Orientador(a): Prof. Me. Artur Moisés Gonçalves Lourenço.

1. Gestão Ambiental. 2. Agricultura familiar. 3. Automação - Irrigação. 4. Semiárido. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFPB/PI

CDU 502

DANIELY SILVA LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE  
BAIXO CUSTO PARA AGRICULTURA FAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso (monografia)  
apresentada ao Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito  
obrigatório à obtenção do Título de Tecnólogo em  
Gestão Ambiental.

Aprovada em: 01/07/2026

Documento assinado digitalmente  
 **ARTUR MOISES GONCALVES LOURENCO**  
Data: 09/07/2026 08:12:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Orientador Prof. Me. Artur Moises Gonçalves Lourenço**

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA DE FATIMA ARAUJO ALVES**  
Data: 08/07/2026 11:22:57-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Examinador Profa. Dra. Maria de Fátima de Araújo Alves**

Documento assinado digitalmente  
 **ULISSES ALENCAR BEZERRA**  
Data: 07/07/2026 14:59:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Examinador Prof. Dr. Ulisses Alencar Bezerra**

Dedico este trabalho a Deus por me permitir  
realizar esse sonho e a minha família por ser o  
meu ponto de força e perseverança.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível em minha vida.

Agradeço ao meu pai, por sempre me incentivar, me ouvir e me aconselhar com paciência e sabedoria.

Agradeço às minhas filhas, Cecília e Celina, pois olhar para vocês foi meu maior encorajamento para concluir este trabalho.

Agradeço aos discentes que fizeram parte do projeto o qual este TCC foi derivado, em especial João Lima e Miron Cordeiro fundamentais para o desenvolvimento do protótipo.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Me. Artur Moisés, que tornou possível a realização deste sonho por meio de suas orientações.

Agradeço também aos professores que aceitaram compor a banca de defesa deste trabalho de conclusão de curso, contribuindo com suas análises e sugestões.

Agradeço, por fim, a todos os professores do IFPB, que, ao longo da minha trajetória acadêmica, contribuíram para o meu aprendizado e desenvolvimento profissional.

## RESUMO

A escassez hídrica afeta cerca de 2 bilhões de pessoas no mundo e impõe fortes restrições à agricultura familiar do semiárido brasileiro, região marcada por baixos índices pluviométricos e elevada evapotranspiração. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver e implantar um sistema de automação e monitoramento de irrigação de baixo custo destinado a agricultores familiares, tomando como área experimental o município de Princesa Isabel (PB). Foram empregadas tecnologias acessíveis, como microcontroladores Arduino, sensores de umidade do solo, temperatura, chuva e vazão, além de um módulo de registro de dados em cartão SD, com a instalação de um protótipo em uma horta de hortaliças folhosas. Os dados coletados indicaram redução de aproximadamente 22,5% no consumo de água em relação ao manejo manual anteriormente praticado, possibilitando maior controle do momento e do volume de irrigação. A solução demonstrou flexibilidade e potencial de replicação em diferentes contextos do semiárido, evidenciando que tecnologias de baixo custo podem contribuir para a sustentabilidade hídrica na agricultura familiar e oferecer subsídios ao planejamento de instituições de assistência técnica, como a EMATER-PB.

**Palavras-chave:** Agricultura familiar. Arduino. Automação da irrigação. Semiárido. Sustentabilidade hídrica.

## ABSTRACT

Water scarcity affects about 2 billion people worldwide and imposes severe constraints on family farming in the Brazilian semiarid region, an area marked by low rainfall and high evapotranspiration. In this context, this study aimed to develop and implement a low-cost irrigation automation and monitoring system for family farmers, using the municipality of Princesa Isabel (PB), Brazil, as the experimental area. Accessible technologies were employed, such as Arduino microcontrollers, soil moisture, temperature, rainfall and flow sensors, and an SD card data-logging module, with a prototype installed in a leafy-vegetable garden. The collected data indicated a reduction of approximately 22.5% in water consumption compared with the manual management previously practised, allowing greater control over the timing and volume of irrigation. The solution proved flexible and replicable in different semiarid contexts, demonstrating that low-cost technologies can contribute to water sustainability in family farming and provide support for the planning of technical assistance institutions such as EMATER-PB.

**Keywords:** Family farming. Arduino. Irrigation automation. Semiarid region. Water sustainability.

## SUMÁRIO

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                      | 10 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO .....                             | 12 |
| 2.1 Agricultura Familiar: Contextualização .....        | 12 |
| 2.2 Irrigação na Agricultura .....                      | 14 |
| 2.3 Irrigação Sustentável.....                          | 15 |
| 2.4 Sistemas de Automação na Irrigação .....            | 17 |
| 2.5 Microcontroladores Arduino e Sensores .....         | 18 |
| 2.5.1 Sensor de Temperatura DS18B20 .....               | 20 |
| 2.5.2 Sensor de Umidade e Temperatura do ar DHT11 ..... | 20 |
| 2.5.3 Módulo RTC DS3231 .....                           | 21 |
| 2.5.4 Sensor de Fluxo de Efeito Hall .....              | 22 |
| 2.5.5 Sensor de Umidade do Solo Capacitivo .....        | 23 |
| 2.6 Módulo de Cartão SD .....                           | 23 |
| 2.7 Confiabilidade dos Sensores .....                   | 24 |
| 2.8 Controle por Telemetria .....                       | 25 |
| 3 METODOLOGIA.....                                      | 26 |
| 3.1 Caracterização da Área de Estudo .....              | 26 |
| 3.2 Delineamento da Pesquisa .....                      | 27 |
| 3.3 Etapas Metodológicas .....                          | 27 |
| 3.3.1 Seleção e Especificação dos Componentes .....     | 27 |
| 3.3.2 Desenvolvimento do Protótipo.....                 | 28 |
| 3.3.3 Calibração do Sensor de Vazão.....                | 29 |
| 3.3.4 Definição dos Parâmetros de Controle.....         | 30 |
| 3.4 Instalação do Sistema em Campo .....                | 30 |
| 3.5 Sistema Data Logger e Armazenamento de Dados .....  | 32 |
| 3.6 Análise dos Dados.....                              | 33 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                          | 35 |
| 4.1 Eficiência no Consumo de Água.....                  | 35 |
| 4.2 Desempenho e Calibrações dos Sensores .....         | 36 |
| 4.3 Monitoramento Contínuo e Sistema Data Logger .....  | 37 |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 4.4 Indicadores de Desempenho do Sistema | 38 |
| 4.5 Análise de Custo-Benefício           | 39 |
| 4.6 Limitações e Desafios Observados     | 40 |
| 5 CONCLUSÃO                              | 42 |
| REFERÊNCIAS                              | 43 |

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023, intitulado Parcerias e Cooperação para a Água, a escassez hídrica já afeta cerca de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo, enquanto aproximadamente 4 bilhões vivenciam falta severa de água durante pelo menos um mês ao ano. O documento alerta que a demanda global por água poderá aumentar em cerca de 30% até 2050, impulsionada pelo crescimento populacional, urbanização e intensificação das atividades agrícolas e industriais.

O relatório enfatiza ainda a necessidade de fortalecer a cooperação entre setores, governos e comunidades para promover o uso sustentável e equitativo dos recursos hídricos, destacando a importância de tecnologias de monitoramento e gestão inteligente da água, especialmente em regiões áridas e semiáridas (UNESCO, 2023).

O Brasil, embora possua uma das maiores reservas de água doce do mundo, enfrenta significativas desigualdades na distribuição e disponibilidade de seus recursos hídricos. Diversas regiões do país apresentam sérias limitações quanto à quantidade, qualidade e regularidade no abastecimento, afetando tanto o consumo humano quanto os usos agrícola, industrial e ecológico (ANA, 2023).

Especificamente no semiárido Nordeste, os desafios relacionados à disponibilidade hídrica tornam-se ainda mais evidentes. A região caracteriza-se por baixos índices pluviométricos, inferiores a 800 mm anuais, longos períodos de estiagem e elevada taxa de evapotranspiração, fatores que comprometem o armazenamento de água e limitam a produção agrícola. Essas condições impõem forte dependência de práticas de manejo eficiente da água, especialmente entre os pequenos produtores rurais que compõem a base da agricultura familiar local (ANA, 2023).

A agricultura familiar caracteriza-se por ter a gestão e a execução das atividades produtivas realizadas predominantemente pela própria família, utilizando mão de obra local e promovendo a fixação das comunidades no campo (FAO, 2017). Esse segmento é responsável por aproximadamente 76,7% do total de estabelecimentos agropecuários no Brasil, tendo participação majoritária em diversas cadeias produtivas, como mandioca, fruticultura e horticultura, entre outras. A agricultura familiar constitui a base alimentar e nutricional do país, além de representar cerca de 23% do Produto Interno Bruto (PIB) e emprega mais de 10 milhões de pessoas no meio rural (IBGE, 2017).

Apesar de sua relevância socioeconômica, ao longo do tempo, os pequenos agricultores têm enfrentado restrições no acesso a tecnologias modernas de irrigação, o que reforça a

importância de iniciativas voltadas à automação e ao uso racional dos recursos hídricos (EMBRAPA, 2022).

A Lei nº 12.787/2013 estabelece a Política Nacional de Irrigação, visando a sustentabilidade e o fortalecimento da agricultura familiar, por meio do uso de tecnologias, pesquisa e assistência técnica. Contudo, mesmo com a existência da Lei, o agricultor continua enfrentando vulnerabilidades relacionadas ao manejo dos recursos naturais, à falta de tecnologias acessíveis e aos efeitos das mudanças climáticas, o que evidencia que a legislação, por si só, não garante condições sustentáveis de produção.

Nesse contexto, este trabalho propõe uma solução tecnológica sustentável e de baixo custo, capaz de otimizar o uso da água, melhorar o monitoramento ambiental e reduzir desperdícios, contribuindo para a autonomia do agricultor e para a construção de práticas agrícolas mais sustentáveis e economicamente viáveis.

Diante do exposto, surge a seguinte pergunta-problema que norteia esta pesquisa: Como a automação de baixo custo pode contribuir para diminuir o desperdício de água e fortalecer a autonomia de agricultores familiares em regiões com escassez hídrica?

Para responder a essa questão, este trabalho teve como objetivo geral desenvolver e implantar um sistema de automação e monitoramento de irrigação de baixo custo para a agricultura familiar. Para o alcance desse objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: a) definir os microcontroladores, sensores eletrônicos e o circuito do sistema; b) identificar parâmetros ideais para indicar o acionamento e o volume de água a ser utilizado a partir dos dados captados pelos sensores; c) implementar um sistema *data logger* para o monitoramento dos dados; e d) avaliar a eficiência no uso da água do sistema automatizado em relação ao manejo manual.

A monografia está estruturada em cinco capítulos. O primeiro apresenta a introdução, com a contextualização do tema, justificativa e objetivos do estudo. O segundo capítulo aborda o referencial teórico, discutindo os principais conceitos sobre irrigação, automação e agricultura familiar. O terceiro descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento e a implementação do sistema. O quarto capítulo apresenta e analisa os resultados obtidos durante a execução da pesquisa. Por fim, o quinto capítulo reúne as considerações finais, destacando as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Agricultura Familiar: Contextualização**

Nas últimas décadas, têm-se registrado avanços significativos no que se refere à delimitação conceitual e à compreensão sociológica do segmento formado por pequenos proprietários rurais. Trata-se de agricultores que detêm pequenas porções de terra e cuja produção é realizada, predominantemente, com base na força de trabalho familiar. Esses produtores destinam sua produção tanto ao autoconsumo quanto à comercialização, e residem, em sua maioria, em pequenas comunidades ou povoados rurais (SCHNEIDER; CASSOL, 2013).

De acordo com Bittencourt (2020), a agricultura familiar brasileira desempenha um papel fundamental na garantia da segurança alimentar e nutricional da população, uma vez que é responsável por grande parte da produção de alimentos consumidos internamente (IBGE, 2017). Além de suprir as necessidades alimentares básicas, essa forma de produção fortalece a economia local, da circulação de renda e do estímulo a mercados regionais, contribuindo, assim, para a promoção do desenvolvimento rural sustentável.

Ainda de acordo com o autor, outro aspecto relevante da agricultura familiar é o vínculo de parentesco que se estabelece entre os membros da unidade produtiva. O conhecimento tradicional, as técnicas de cultivo e as práticas de manejo que são transmitidos de geração em geração, fortalecem os vínculos com o território e preservam os saberes locais, a permanência das famílias no campo, os saberes tradicionais e a identidade cultural das comunidades rurais.

Segundo os dados do 3º Anuário Estatístico da Agricultura familiar, publicado em 2024, pela Confederação Nacional dos Trabalhadores Rurais Agricultores e Agricultoras familiares (CONTAG), existem aproximadamente 3,9 milhões de estabelecimentos familiares rurais no Brasil, os quais ocupam cerca de 23% da área agrícola do país. Apesar da limitação territorial, esses estabelecimentos são responsáveis por cerca de 23% do valor bruto da produção agropecuária nacional. Além disso, a agricultura familiar é responsável por 67% dos postos de trabalho no meio rural, configurando-se como o principal vetor de ocupação e renda nas áreas rurais brasileiras.

Revela-se, assim, que, em comparação global, a agricultura familiar brasileira ocupa uma posição de destaque, figurando como a oitava maior produtora de alimentos do mundo. Este dado reforça sua contribuição para a segurança alimentar, a soberania alimentar e o desenvolvimento territorial sustentável (LIMA; SILVA; IWATA, 2019).

Nesse sentido, para que o desenvolvimento rural ocorra de forma contínua e sustentável, faz-se necessária a oferta de alternativas tecnológicas inovadoras voltadas à agricultura familiar. Tais iniciativas visam à ampliação da geração de renda, à melhoria da qualidade de vida no meio rural e ao fortalecimento do processo de sucessão familiar, contribuindo para a permanência das novas gerações no campo (BITTENCOURT, 2020).

Entretanto, o autor destaca ainda que diversos fatores socioeconômicos e organizacionais limitam o avanço tecnológico nas propriedades familiares. Dentre os quais, merecem destaque: a forma de organização social, o acesso restrito à informação, a escassez de mão de obra, as deficiências na infraestrutura e as limitações relacionadas ao tamanho e à localização das propriedades. Cada um desses elementos, isoladamente, compromete a produtividade e os resultados econômicos das unidades produtivas familiares. Além disso, a interação entre tais fatores intensifica os desafios enfrentados pelos agricultores, dificultando a adoção de inovações e o desenvolvimento efetivo do setor.

Nesse sentido, iniciativas como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), orientadas pela perspectiva agroecológica, ganham relevância ao promover o uso sustentável dos recursos naturais. Tal enfoque está em consonância com o princípio da multifuncionalidade da agricultura, sobretudo no que se refere à segurança alimentar e ao desenvolvimento sustentável. Assim, os agricultores familiares configuram-se como agentes centrais na transição para uma economia mais sustentável, uma vez que, além de proverem alimentos e outros produtos agrícolas, também exercem um papel fundamental na conservação da biodiversidade e na manutenção de práticas produtivas ambientalmente responsáveis, conforme destacam Aquino, Gazolla e Schneider (2021), ao analisarem os desafios e limites da inserção da agricultura de base ecológica no PRONAF.

A sustentabilidade, por meio da incorporação de tecnologias adequadas, configura-se como alternativa para os desafios enfrentados pela agricultura familiar. Esse processo promove um desenvolvimento intrinsecamente vinculado ao meio rural, sendo impulsionado por políticas públicas, incentivos fiscais e programas específicos que visam ao bem-estar das famílias agricultoras e à melhoria das condições produtivas. Esses instrumentos favorecem a adoção de práticas sustentáveis, com ênfase na diversificação produtiva e na ampliação da pequena produção, contribuindo para a geração de renda, a segurança alimentar e a valorização da agricultura de base familiar (IBGE, 2017; ALTIERI, 2009).

## 2.2 Irrigação na Agricultura

Segundo Marouelli (2022), a irrigação é uma técnica de manejo utilizada na agricultura com o objetivo de fornecer, de forma controlada, a umidade necessária ao solo para garantir o desenvolvimento adequado das plantas, contribuindo para a estabilidade das safras e o aumento da produção agrícola.

A irrigação desempenha um papel fundamental na estabilização da produção agrícola, especialmente em regiões afetadas por variações climáticas severas. Em locais com ocorrência frequente de estiagens, esse recurso possibilita a continuidade das atividades produtivas, reduzindo perdas e contribuindo para a segurança alimentar. Esse fator é ainda mais relevante no caso de culturas sensíveis à falta de água, como o milho e o arroz, que compõem a base alimentar de grande parte da população mundial (LIU; LV; LI, 2025).

Segundo dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em 2022, no Brasil, a irrigação foi responsável por aproximadamente 50% do volume total de água retirada, enquanto a indústria consumiu cerca de 16% e o abastecimento humano respondeu por 25%. Esses valores evidenciam a importância da irrigação como principal usuária dos recursos hídricos do país, o que reforça sua relevância na formulação de políticas públicas e na tomada de decisões relacionadas à gestão da água.

Nesse sentido, a agricultura irrigada configura-se como o segmento mais dinâmico no uso de recursos hídricos, tanto no contexto brasileiro quanto global, e representa um vetor estratégico para o desenvolvimento regional. Embora sua expansão implique maior demanda por água, os investimentos no setor resultam em expressivos ganhos de produtividade e incremento no valor agregado da produção agrícola. Esse aumento de eficiência contribui para a redução da pressão por abertura de novas áreas cultiváveis, promovendo a segurança alimentar da população e fortalecendo a resiliência produtiva. Dessa forma, é necessário que a expansão da agricultura irrigada ocorra de maneira planejada, assegurando a sustentabilidade hídrica do setor e a compatibilização com os demais usos múltiplos da água (ANA, 2021).

No Nordeste brasileiro, a irrigação desempenha um papel estratégico no desenvolvimento agrícola, região historicamente marcada por escassez hídrica e irregularidade pluviométrica. Por meio de sistemas irrigados, é possível garantir maior estabilidade na produção agrícola, possibilitando colheitas em períodos de estiagem e o cultivo de diversas culturas ao longo do ano (FERREIRA; VIEIRA FILHO, 2021).

Nesse mesmo contexto, a irrigação no semiárido brasileiro mostra-se decisiva para o fortalecimento da agricultura e o aumento da produção de alimentos. Diante do clima predominantemente seco da região, e considerando-se a irrigação como o conjunto de técnicas

que possibilita o deslocamento da água no tempo ou no espaço para fins agrícolas, essa prática assume papel central na redução dos impactos negativos causados pela irregularidade das chuvas sobre a atividade agrícola local (CASTRO, 2017).

Morais et al. (2021) destacam ainda que a irrigação, além de beneficiar diretamente os produtores rurais, exerce um papel estratégico na dinamização da economia nacional. A implementação de projetos de irrigação tem viabilizado a conversão de áreas anteriormente improdutivas em importantes polos agrícolas, fomentando a geração de emprego, renda e impulsionando o desenvolvimento socioeconômico regional.

Assim, a irrigação na agricultura transcende a função básica de fornecimento de água às culturas, configurando-se como elemento central para o aumento da produtividade agrícola, a garantia da segurança alimentar, o fortalecimento da economia e a promoção da sustentabilidade ambiental. O investimento em sistemas de irrigação modernos e eficientes permite aos países otimizar a produção no campo e fomentar um modelo de desenvolvimento mais sustentável e socialmente equitativo. Estudos indicam que a irrigação contribui significativamente para o aumento da produtividade agrícola, a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico, especialmente em regiões semiáridas, ao possibilitar uma produção mais estável e diversificada (FAO, 2021).

Além disso, a irrigação mal planejada pode acarretar sérios prejuízos ambientais e econômicos, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Entre os principais impactos negativos estão a salinização do solo, a redução da qualidade da água por contaminação, o desperdício hídrico e a degradação da produtividade agrícola a longo prazo (FAO, 2021).

Além disso, práticas inadequadas de irrigação podem levar à superexploração dos recursos hídricos, afetando ecossistemas e a disponibilidade de água para outras atividades. Estudos indicam que a falta de planejamento e manejo eficiente da irrigação contribui para perdas significativas na produção e aumento dos custos operacionais, ressaltando a necessidade de adoção de tecnologias e práticas sustentáveis para mitigar esses riscos (IERE, 2025).

### **2.3 Irrigação Sustentável**

A irrigação constitui ferramenta estratégica para o aumento da produção agrícola, sobretudo em contextos de escassez hídrica e mudanças climáticas. De acordo com a FAO (2022), aproximadamente 20% das terras cultivadas no mundo são irrigadas, mas essas áreas respondem por cerca de 40% da produção total de alimentos, o que demonstra a alta eficiência dessa prática. Essa realidade evidencia a importância da irrigação para garantir a segurança

alimentar, sobretudo diante do crescimento populacional e da necessidade de intensificação sustentável da agricultura.

Os números futuros sobre alimentação revelam desafios significativos para garantir alimento suficiente e de qualidade para uma população global que deve ultrapassar os 9 bilhões de pessoas até 2050. Para atender essa demanda crescente, será necessário aumentar a produção de alimentos em cerca de 60% (FAO, 2017). Nesse contexto, a irrigação sustentável apresenta-se como uma das principais respostas a esses desafios. Ela permite o uso eficiente da água, evitando desperdícios e assegurando que as plantações recebam a quantidade necessária, mesmo em situações de escassez hídrica provocadas pelas mudanças climáticas e pela degradação ambiental.

No entanto, o uso intensivo da irrigação convencional pode acarretar impactos ambientais negativos, como o desperdício de água, a salinização dos solos e a degradação dos ecossistemas. Diante disso, tem ganhado destaque a necessidade de se promover uma irrigação sustentável, baseada em tecnologias que garantam o uso eficiente dos recursos hídricos. A Agência Nacional de Águas (ANA, 2023) destaca que sistemas modernos, como o gotejamento, a microaspersão e o uso de sensores de umidade, têm potencial para reduzir significativamente o consumo de água, ao mesmo tempo em que mantêm ou até aumentam os níveis de produtividade agrícola.

Além da dimensão técnica, a irrigação sustentável envolve também aspectos sociais e políticos. Bufon (2023) observou que, em países desenvolvidos, órgãos decisórios vêm priorizando estratégias de intensificação produtiva por meio da irrigação como forma de garantir a segurança alimentar e energética de forma sustentável. No entanto, em países em desenvolvimento, ainda persistem desafios como o acesso desigual à infraestrutura, a carência de assistência técnica e a ausência de políticas públicas eficazes para a gestão integrada da água no setor agrícola. Esses fatores limitam a adoção em larga escala de tecnologias sustentáveis, especialmente entre pequenos e médios produtores.

O acesso equitativo a esses elementos possibilita a adoção de práticas mais eficientes e responsáveis, aumentando a produtividade e a resiliência das comunidades rurais, além de contribuir para a conservação dos recursos naturais e a melhoria da segurança alimentar (ALTIERI, 2009). Iniciativas que promovem a participação comunitária nas decisões agrícolas têm demonstrado resultados positivos em diversas regiões, fortalecendo ainda mais essa perspectiva.

A forte interdependência entre água, alimento e energia, influencia diretamente a discussão sobre irrigação sustentável. Segundo a FAO (2022), o aumento da demanda por esses

recursos, impulsionado por fatores como crescimento demográfico e mudanças nos padrões de consumo, exige soluções integradas que considerem a conservação dos recursos naturais. Nesse contexto, a irrigação sustentável se apresenta como um dos principais mecanismos para garantir o equilíbrio entre produtividade agrícola e preservação ambiental, reforçando a necessidade de planejamento territorial e gestão eficiente dos recursos hídricos.

Dessa forma, o avanço da irrigação sustentável depende da articulação entre inovação tecnológica, políticas públicas inclusivas e gestão ambiental responsável. De acordo com a FAO (2022), somente por meio de uma abordagem sistêmica será possível alcançar um modelo de agricultura que responda às exigências de produção alimentar, sem comprometer os recursos naturais e os direitos das futuras gerações.

## **2.4 Sistemas de Automação na Irrigação**

Na agricultura familiar, os sistemas tradicionais de irrigação, como a aspersão por gravidade, sulcos ou mangueiras manuais, ainda são amplamente utilizados. No entanto, essas técnicas apresentam baixa eficiência no uso da água, ocasionando perdas por evaporação, escoamento superficial e lixiviação. Tais limitações comprometem tanto a produtividade quanto a sustentabilidade da produção agrícola, além de exigirem maior esforço físico por parte dos produtores e não permitirem controle preciso da quantidade de água aplicada (MAROUELLI, 2022).

Em contrapartida, os sistemas de irrigação automatizados, equipados com sensores de umidade do solo e monitoramento climático, proporcionam maior precisão no fornecimento de água às culturas. Essa tecnologia permite a irrigação no momento e na quantidade adequada, conforme as necessidades reais das plantas, reduzindo o desperdício e melhorando o desempenho agrônômico. Segundo Marouelli (2022), tais inovações também contribuem para a conservação dos recursos hídricos e aumentam a resiliência frente às mudanças climáticas.

Bittencourt (2020) destaca ainda que a inserção de tecnologias na agricultura familiar tem-se mostrado relevante para o aumento da produtividade, a redução de perdas e a promoção da sustentabilidade no campo. Tecnologias de fácil acesso, como a irrigação localizada, o manejo integrado de pragas e o uso de aplicativos para previsão climática, vêm sendo cada vez mais incorporadas por pequenos produtores, contribuindo significativamente para a gestão eficiente da produção e o uso racional dos recursos naturais. Esse movimento evidencia o potencial das inovações tecnológicas como aliadas do fortalecimento da agricultura de base familiar.

Destaca-se ainda que a automação na irrigação representa um avanço expressivo na gestão hídrica das propriedades rurais. A aplicação da água diretamente nas raízes das plantas, aliada ao monitoramento em tempo real por sensores, possibilita ajustes automáticos que evitam desperdícios e asseguram a disponibilidade adequada de água para as culturas. Essa prática reduz perdas por evaporação e escoamento e contribui para a preservação dos recursos hídricos, além de oferecer maior capacidade de adaptação frente às instabilidades climáticas (MAROUELLI, 2022).

Nesse contexto, a ampliação da agricultura digital configura-se como estratégia central para potencializar os sistemas produtivos no Brasil. A adoção em larga escala de tecnologias digitais, já observada em diferentes regiões do país, tem transformado a tomada de decisões no campo. Ferramentas tecnológicas estão sendo integradas à rotina produtiva, oferecendo maior agilidade e precisão na gestão das lavouras. A partir do uso inteligente de dados, é possível alcançar maior eficiência no uso de insumos, maximizar receitas, elevar a produtividade com menor consumo de recursos naturais e promover práticas agrícolas mais sustentáveis (CROPLIFE BRASIL, 2023).

## **2.5 Microcontroladores Arduino e Sensores**

Os microcontroladores estão presentes em diversos aparelhos usados no cotidiano, como televisores, smartphones, carros, brinquedos e eletrodomésticos. Eles são responsáveis por controlar funções específicas de cada dispositivo, desde o simples acionamento de um botão até o gerenciamento completo de sistemas embarcados (MARTINAZZO, 2014). Os microcontroladores são componentes centrais em sistemas eletrônicos modernos, permitindo a automação e o controle preciso de processos em uma ampla gama de aplicações (MCROBERTS, 2011).

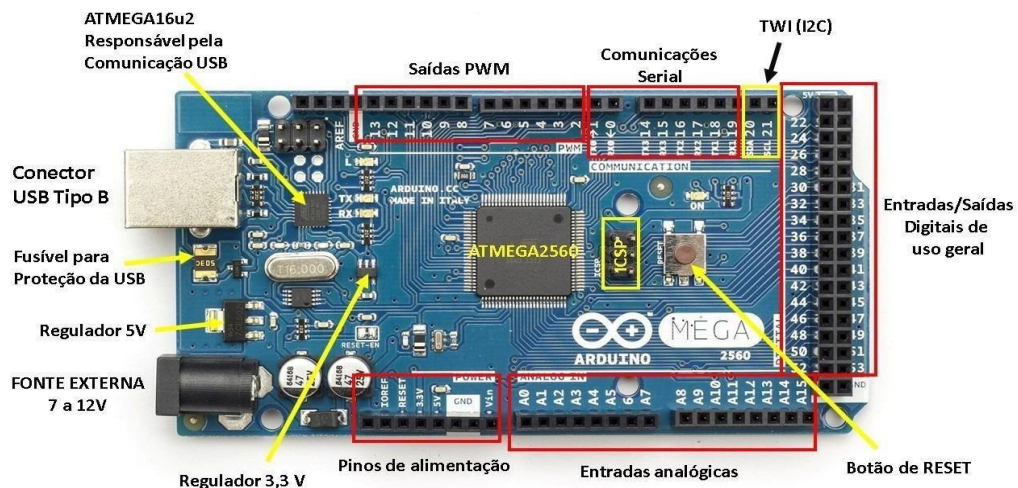
O Arduino é um microcontrolador que surgiu no Ivrea Interaction Design Institute com o objetivo de ser uma ferramenta acessível para prototipagem rápida, especialmente voltada a estudantes sem conhecimento prévio em eletrônica ou programação. Desde então, a plataforma evoluiu significativamente e tem sido amplamente utilizada como núcleo de diversos projetos, que vão desde aplicações simples no cotidiano até instrumentos científicos mais avançados (ARDUINO, 2025a).

Essa evolução foi impulsionada por uma comunidade global composta por estudantes, amadores, artistas, programadores e profissionais, cuja colaboração contínua resultou em um vasto repositório de conhecimento aberto, útil tanto para iniciantes quanto para especialistas. Além disso, o Arduino utiliza o conceito de *open hardware*, oferecendo ampla variedade de

bibliotecas para facilitar o desenvolvimento de soluções e compatibilidade com grande diversidade de sensores (ARDUINO, 2025a).

A plataforma Arduino possui diferentes versões, que se diferenciam principalmente pela quantidade de portas de comunicação disponíveis. Entre elas, destaca-se o Arduino Mega 2560, como mostra na Figura 1, indicado para projetos de maior complexidade por oferecer um número significativamente maior de recursos em comparação com modelos como o Arduino Uno (ARDUINO, 2025a).

Figura 1 - Placa Arduino Mega 2560



Fonte: Arduino (2025b).

McRoberts (2011) define ainda que o Arduino é como um pequeno computador que pode ser programado para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes conectados a ele externamente. Atualmente a quantidade de sensores existentes é enorme, elevando as possibilidades de aquisição de informações através das entradas.

Segundo Fernandes, Preuss e Silva (2017), os sensores conectados à plataforma Arduino desempenham papel central na captação de informações do ambiente, convertendo-as em sinais elétricos que podem ser interpretados pelo microcontrolador. Esses dados podem ser adquiridos por meio de diversos tipos de sensores, como os de temperatura, umidade e luminosidade, entre outros. A utilização desses dispositivos permite a automação e o monitoramento de sistemas, como estufas agrícolas, promovendo maior eficiência no controle ambiental. Os sensores utilizados neste sistema serão descritos nas seções a seguir.

### 2.5.1 Sensor de Temperatura DS18B20

O sensor DS18B20, como mostra a Figura 2, é amplamente utilizado em projetos com Arduino devido à sua precisão, durabilidade e facilidade de integração. Trata-se de um sensor digital que opera com o protocolo One-Wire, o que permite a conexão de múltiplos sensores em uma mesma porta de dados, otimizando o uso de pinos no microcontrolador. Segundo a Maxim Integrated (2019), o DS18B20 pode medir temperaturas na faixa de  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com uma precisão de  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  na maior parte dessa faixa, sendo ideal para aplicações que exigem leituras estáveis e confiáveis, como em estufas agrícolas, sistemas de climatização e monitoramento ambiental.

Além da precisão nas medições, o DS18B20 apresenta baixo consumo de energia e pode operar tanto em alimentação convencional quanto no modo de alimentação parasita (*parasite power*), característica que simplifica a instalação em projetos com limitações de cabeamento. Sua saída digital elimina a necessidade de conversão analógica pelo microcontrolador, reduzindo a suscetibilidade a interferências elétricas e aumentando a confiabilidade das medições. Essas características tornam o sensor uma alternativa amplamente empregada em sistemas de automação, monitoramento de processos industriais e aplicações de Internet das Coisas (IoT), nas quais a aquisição precisa de dados de temperatura é essencial para o desempenho do sistema (MAXIM INTEGRATED, 2019).

Figura 2 - Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: Maxim Integrated (2019).

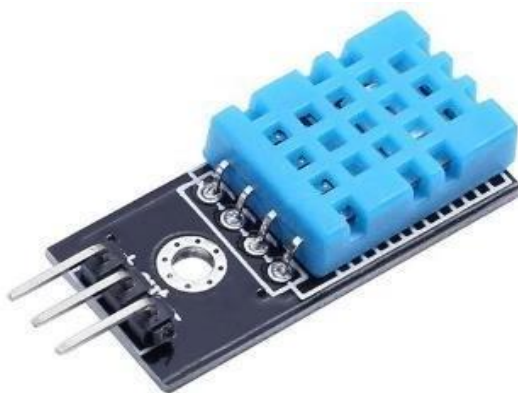
### 2.5.2 Sensor de Umidade e Temperatura do ar DHT11

O sensor DHT11, como ilustrado na Figura 3, é comumente adotado em sistemas embarcados com Arduino devido à sua simplicidade e baixo custo. Ele é capaz de medir

temperatura e umidade relativa do ar, enviando os dados de forma digital para o microcontrolador. De acordo com a Aosong (2018), o DHT11 possui uma faixa de medição de 20% a 90% de umidade relativa e 0 °C a 50 °C de temperatura, com precisão de  $\pm 5\%$  UR e  $\pm 2$  °C, respectivamente.

Embora apresente uma precisão inferior à de sensores mais avançados, o DHT11 atende satisfatoriamente a aplicações de monitoramento ambiental que não exigem elevado rigor metrológico. Sua interface digital simplifica a comunicação com o Arduino, reduzindo a necessidade de circuitos adicionais e facilitando o desenvolvimento de projetos de automação residencial, estações meteorológicas e sistemas de controle climático. Em razão dessas características, o sensor é amplamente utilizado em atividades didáticas e em protótipos de baixo custo voltados ao monitoramento das condições ambientais (AOSONG, 2018).

Figura 3 - Sensor de umidade e temperatura do ar DHT11



Fonte: Aosong (2018).

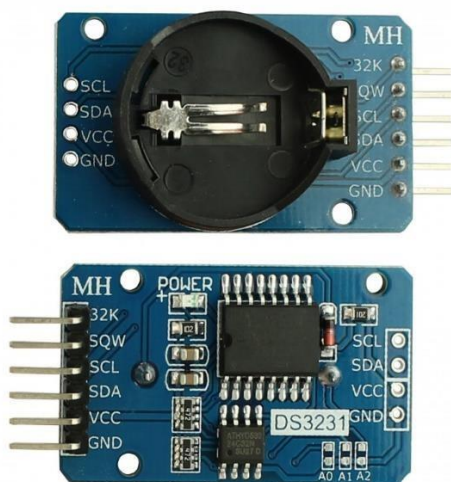
### 2.5.3 Módulo RTC DS3231

O módulo RTC DS3231 (Real Time Clock), apresentado na Figura 4, é amplamente utilizado em projetos com Arduino que exigem a medição precisa do tempo e da data, mesmo quando o sistema está desligado ou reiniciado. Conforme a Maxim Integrated (2015), esse módulo possui um oscilador de cristal com compensação térmica, o que garante alta precisão em suas medições, com desvio de apenas alguns segundos por mês.

Além da alta precisão, o módulo DS3231 RTC Module também se destaca pela facilidade de integração com microcontroladores por meio do protocolo I2C, utilizando apenas duas linhas de comunicação (SDA e SCL). Essa característica reduz significativamente o uso de pinos do Arduino, permitindo sua aplicação em sistemas mais complexos sem comprometer a disponibilidade de entradas e saídas. Além disso, o módulo geralmente conta com uma bateria

de backup (CR2032), que mantém o funcionamento do relógio mesmo na ausência de alimentação principal, garantindo a preservação contínua da contagem de tempo em aplicações como *data loggers*, sistemas de automação e equipamentos de monitoramento (MAXIM INTEGRATED, 2015).

Figura 4 - Módulo RTC DS3231



Fonte: Maxim Integrated (2015).

#### 2.5.4 Sensor de Fluxo de Efeito Hall

O sensor de fluxo com efeito Hall, como mostra a Figura 5, é um componente eletrônico utilizado para medir a vazão de líquidos, funcionando a partir da detecção da rotação de um rotor interno. Esse rotor gira conforme o fluido passa pelo sensor, e um ímã embutido emite pulsos magnéticos que são detectados por um sensor do tipo Hall, o qual converte esse sinal em pulsos elétricos que podem ser lidos por microcontroladores como o Arduino (ARDUINO, 2025a).

De acordo com Lalnunthari e Thanga (2018), a contagem desses pulsos permite calcular com precisão o volume de líquido que flui em determinado período, sendo uma solução eficaz e de baixo custo para sistemas de irrigação automatizada, controle de consumo de água e aplicações industriais. Sua fácil integração com plataformas embarcadas e sua alta sensibilidade tornam o sensor de fluxo com efeito Hall uma escolha prática em projetos de automação.

Figura 5 - Sensor de fluxo de efeito Hall



Fonte: Components101 (2021).

#### 2.5.5 Sensor de Umidade do Solo Capacitivo

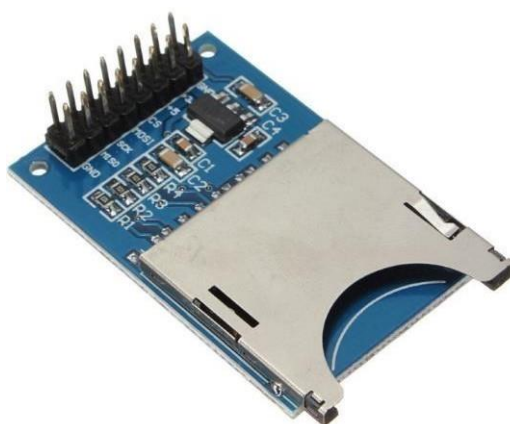
O sensor de umidade do solo é o componente responsável por fornecer a informação que governa o acionamento automático da irrigação no sistema proposto. Os sensores do tipo capacitivo estimam a umidade do solo a partir da variação da constante dielétrica do meio, convertendo-a em um sinal elétrico interpretado pelo microcontrolador. Em comparação aos sensores resistivos, os capacitivos apresentam maior durabilidade, por não possuírem eletrodos metálicos expostos sujeitos à corrosão, sendo, por isso, comumente adotados em sistemas de irrigação automatizada de baixo custo.

De acordo com Pereira et al. (2020), a integração de sensores de umidade do solo à plataforma Arduino possibilita uma gestão mais precisa da irrigação, promovendo o uso racional da água. Deve-se considerar, contudo, que a relação entre o sinal do sensor e o conteúdo real de água no solo varia conforme o tipo de solo, razão pela qual Marouelli (2022) ressalta a importância de considerar as características específicas de cada solo no manejo da irrigação.

### 2.6 Módulo de Cartão SD

O módulo de cartão SD, conforme mostrado na Figura 6, é um componente recorrente em sistemas de aquisição de dados, permitindo o armazenamento local de informações registradas por sensores conectados ao Arduino. Segundo McRoberts (2011), esse módulo se comunica com o microcontrolador por meio do protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), possibilitando a leitura e gravação de arquivos em formato FAT32 diretamente em cartões microSD. Seu uso é indicado em projetos que exigem registro contínuo de dados, como monitoramento ambiental, *data logging* em estufas agrícolas e controle de variáveis físicas em tempo real. Além de ser de fácil implementação, o módulo suporta cartões com capacidades variadas e é compatível com bibliotecas amplamente utilizadas na plataforma Arduino.

Figura 6 - Módulo de Cartão SD



Fonte: McRoberts (2011).

## 2.7 Confiabilidade dos Sensores

Diversos estudos têm explorado o uso da plataforma Arduino associada a sensores para monitorar as condições do solo e controlar sistemas de irrigação automatizados. De acordo com Pereira et al. (2020), a utilização de sensores como os de umidade do solo, temperatura e luminosidade integrados ao Arduino permite uma gestão mais precisa da irrigação, promovendo o uso racional da água, redução de desperdícios e aumento da eficiência no cultivo.

Os resultados obtidos por Pereira et al. (2020) comprovam que o uso da plataforma Arduino associado a um inversor de frequência em sistemas de irrigação por válvulas permite maior controle sobre o fluxo hídrico, contribuindo para uma irrigação de precisão mais eficiente. A automação proposta demonstra ser uma solução acessível e eficaz, especialmente para ambientes agrícolas que demandam economia de recursos e aumento da produtividade, ao mesmo tempo em que amplia a autonomia dos pequenos produtores.

Campos e Vitória (2022) utilizaram o Arduino e sensores em projetos baseados na cultura maker e uso de microcontroladores, destacando que esses recursos podem contribuir significativamente para tornar a tecnologia mais acessível aos pequenos produtores, promovendo melhorias na irrigação e na eficiência do uso da água.

Nesse contexto, Ayres (2024) confirma que a integração dos sensores de umidade, relés e Arduino em um sistema funcional destaca o potencial de tecnologias de baixo custo na solução de problemas práticos. Sua aplicabilidade em cenários reais se mostra promissora, especialmente em contextos em que a eficiência no uso da água e a automação de processos agrícolas podem gerar benefícios significativos quanto à produtividade, à economia de recursos e à sustentabilidade.

## **2.8 Controle por Telemetria**

A utilização de microcontroladores na agricultura pode ser feita em conjunto com diversas outras tecnologias, como sensores ambientais, módulos de comunicação sem fio, sistemas de telemetria e plataformas de Internet das Coisas (IoT). Essa integração permite a criação de soluções automatizadas e inteligentes para o monitoramento de variáveis como umidade do solo, temperatura, luminosidade e consumo de água. Além de reduzir o desperdício de recursos, esses sistemas oferecem maior precisão no manejo agrícola, especialmente em propriedades de pequeno e médio porte (SEBRAE, 2024).

Além disso, favorece a tomada de decisões mais precisas e o planejamento de ações corretivas de forma ágil e econômica, tornando-se uma ferramenta promissora para a agricultura de precisão e a gestão sustentável de recursos hídricos, conforme destaca o SEBRAE (2024) ao abordar soluções de irrigação inteligente no contexto da agricultura orgânica e familiar.

Arvindan e Keerthika (2016) utilizaram sensores de umidade de solo ligados a um microcontrolador Arduino que se comunicou com um smartphone Android, assim mediante informações adquiridas via Wi-Fi e disponíveis no aplicativo realizaram acionamento e paralisação do controle da irrigação.

Além da aquisição para visualizar os dados e controlar acionamento remotamente, pode ser viável utilizar um algoritmo para controlar acionamento, volume e paralisação da irrigação utilizando um conjunto de sensores conectados ao microcontrolador.

### 3 METODOLOGIA

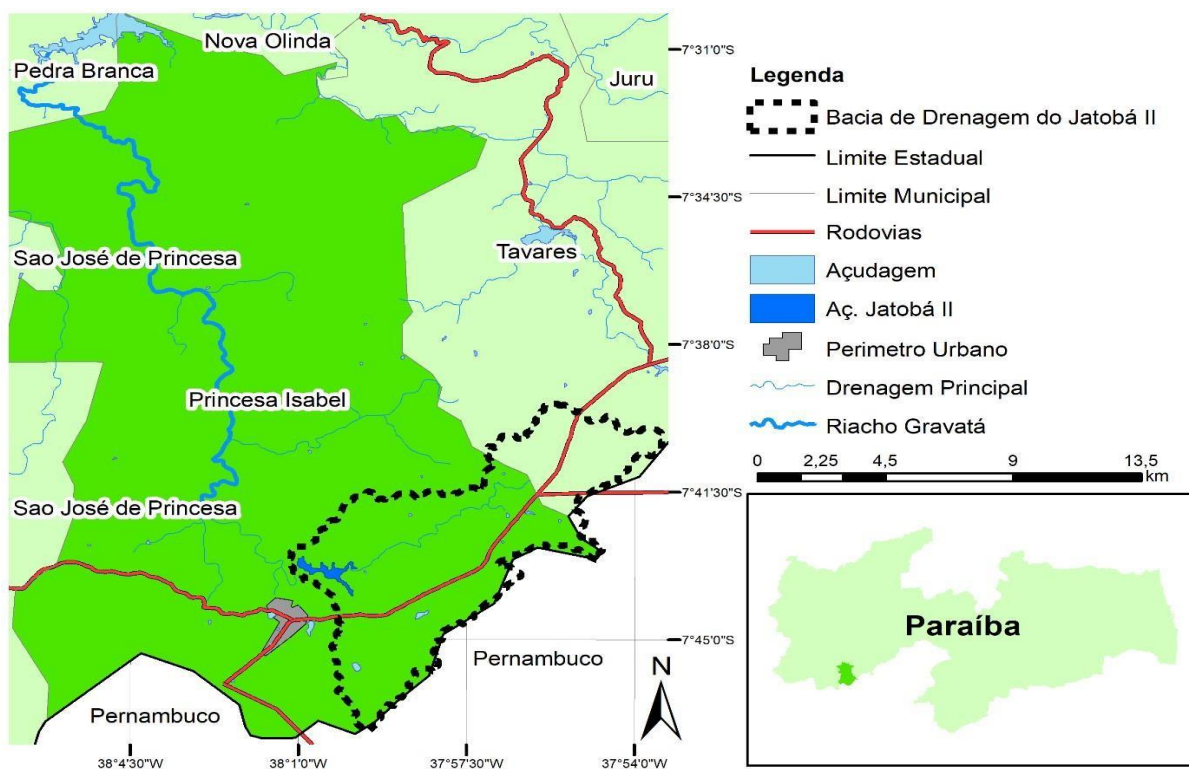
#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa foi conduzida no município de Princesa Isabel, localizado na mesorregião do Sertão Paraibano, estado da Paraíba. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município possui população estimada em 21.114 habitantes, dos quais aproximadamente 31,63% residem na zona rural. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,606, evidenciando os desafios socioeconômicos enfrentados pela população local.

A região está inserida no semiárido nordestino, caracterizada por média pluviométrica anual de aproximadamente 800 mm, temperatura média em torno de 25°C e elevada taxa de evapotranspiração. Essas características climáticas impõem significativas limitações à atividade agrícola, tornando o gerenciamento eficiente dos recursos hídricos fundamental para a sustentabilidade da produção (ANA, 2023).

A Figura 7 apresenta a localização geográfica do município de Princesa Isabel no contexto do estado da Paraíba e da região Nordeste.

Figura 7 - Mapa de localização do município de Princesa Isabel - PB



Fonte: Autoria própria (2018).

### **3.2 Delineamento da Pesquisa**

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza experimental, com abordagem quantitativa. Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito do projeto "Desenvolvimento de um sistema de baixo custo de automação e monitoramento de irrigação para a agricultura familiar no município de Princesa Isabel - PB", vinculado aos Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, Técnico Integrado em Edificações e Informática do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Princesa Isabel.

O período de execução da pesquisa compreendeu os meses de junho a dezembro de 2018, contemplando as fases de desenvolvimento do protótipo, calibração dos sensores, instalação do sistema em campo e monitoramento dos resultados, sendo a reanálise dos dados e discussão dos resultados no ano de 2025 parte desta pesquisa. A escolha desse período permitiu abranger tanto a estação seca quanto o início do período chuvoso na região, possibilitando a avaliação do sistema em diferentes condições climáticas.

### **3.3 Etapas Metodológicas**

O desenvolvimento do sistema de irrigação automatizado foi estruturado em quatro etapas principais, conforme descrito a seguir.

#### **3.3.1 Seleção e Especificação dos Componentes**

A seleção dos componentes do sistema foi orientada pelos critérios de custo, disponibilidade no mercado local, facilidade de integração e adequação às condições de campo. O Quadro 1 apresenta os principais componentes utilizados, suas especificações técnicas e custos estimados.

Quadro 1 - Componentes do sistema de irrigação automatizado.

| Componente                 | Especificação                            | Custo (R\$)   |
|----------------------------|------------------------------------------|---------------|
| Microcontrolador           | Placa compatível com o Arduino Mega 2560 | 80,00         |
| Sensor de temperatura      | DS18B20 (à prova d'água)                 | 15,00         |
| Sensor de umidade/temp. ar | DHT11                                    | 10,00         |
| Sensor de umidade do solo  | Capacitivo (2 unidades)                  | 20,00         |
| Sensor de vazão            | Efeito Hall YF-S201                      | 35,00         |
| Módulo RTC                 | DS3231 (relógio em tempo real)           | 25,00         |
| Módulo cartão SD           | Leitor microSD SPI                       | 20,00         |
| Válvula solenoide          | 12V, 1/2 polegada                        | 40,00         |
| Módulo relé                | 4 canais, 5V                             | 20,00         |
| Caixa de proteção          | Caixa hermética IP65                     | 40,00         |
| <b>TOTAL</b>               |                                          | <b>305,00</b> |

Fonte: Autoria própria.

No protótipo desenvolvido neste trabalho, foi utilizado o Arduino Uno, enquanto na instalação do sistema de automação utilizou-se o Arduino Mega 2560, devido à necessidade de um maior número de portas de comunicação para integração dos diversos sensores.

Conforme destacam Fernandes, Preuss e Silva (2017), a plataforma Arduino, por utilizar o conceito de open hardware, oferece ampla variedade de bibliotecas e compatibilidade com diversos tipos de sensores, facilitando o desenvolvimento de soluções customizadas.

### 3.3.2 Desenvolvimento do Protótipo

O desenvolvimento do sistema foi realizado em duas fases: inicialmente, construiu-se um protótipo utilizando Arduino Uno para testes preliminares e calibração dos sensores; posteriormente, o sistema definitivo foi implementado com Arduino Mega 2560, incorporando todos os componentes e funcionalidades planejadas.

O protótipo inicial foi instalado em uma área de cultivo de hortaliças pertencente ao Centro de Convivência e Aprendizagem (CCA), parceiro social do projeto. Nessa fase, foram realizados testes de comunicação entre os componentes, ajustes na programação e calibração do sensor de vazão. A Figura 8 ilustra a equipe realizando ajustes e coleta de dados durante os testes do protótipo.

Figura 8 - Equipe ajustando e coletando dados durante a realização do protótipo



Fonte: Autoria própria (2018).

### 3.3.3 Calibração do Sensor de Vazão

A calibração do sensor de vazão tipo Hall (YF-S201) constituiu etapa fundamental para garantir a confiabilidade das medições de volume de água. O procedimento consistiu na comparação das leituras obtidas pelo sensor com volumes de água previamente conhecidos.

Foram realizadas 10 medições utilizando um balde com volume conhecido de 5 litros. Em cada medição, a água era passada pelo sensor e o volume registrado pelo sistema era comparado com o volume de referência. Com base nas diferenças observadas, foi possível ajustar o fator de calibração do sensor para minimizar os erros de leitura.

Conforme destacam Sood, Kaur e Lenka (2013), sensores de baixo custo frequentemente requerem calibração local para alcançar precisão adequada. Neste trabalho, verificou-se a necessidade de ajustar o fator de calibração em relação ao especificado pelo fabricante, procedimento que resultou em erro médio de aproximadamente 2% nas medições de vazão.

Os sensores de temperatura (DS18B20) e umidade do ar (DHT11) foram verificados comparando suas leituras com instrumentos de referência disponíveis no laboratório do IFPB, apresentando valores dentro das especificações dos fabricantes. Os sensores de umidade do solo foram utilizados conforme as especificações do fabricante, sem calibração adicional.

### 3.3.4 Definição dos Parâmetros de Controle

Os parâmetros de controle do sistema foram definidos com base nas características das culturas implantadas (hortaliças folhosas) e nas condições edafoclimáticas locais. O Quadro 2 apresenta os parâmetros estabelecidos para o acionamento automático da irrigação.

Quadro 2 - Parâmetros de controle do sistema de irrigação

| Parâmetro                                | Valor Definido                |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| Limiar de umidade do solo para irrigação | 35%                           |
| Umidade do solo para interrupção         | 65%                           |
| Volume máximo por ciclo de irrigação     | 15 litros                     |
| Intervalo mínimo entre irrigações        | 4 horas                       |
| Horário preferencial de irrigação        | 06:00 - 08:00 / 17:00 - 19:00 |

Fonte: Autoria própria.

O limiar de umidade do solo de 35% foi estabelecido com base nas recomendações da literatura para hortaliças folhosas, considerando as características do solo local. Segundo Marouelli (2022), o manejo adequado da irrigação deve considerar as tolerâncias hídricas específicas de cada cultura, evitando tanto o déficit quanto o excesso de água.

## 3.4 Instalação do Sistema em Campo

Após a validação do protótipo, o sistema definitivo de automação foi instalado em uma horta de 80 m<sup>2</sup> pertencente ao Recanto Natureza e Vida – Comunidade Irmãs Carmelitas. A área experimental foi dividida em quatro canteiros de 20 m<sup>2</sup> cada, cultivados com hortaliças folhosas (alface, coentro e cebolinha).

A instalação contemplou a montagem do circuito eletrônico baseado no Arduino Mega 2560, a disposição dos sensores de umidade do solo em pontos representativos dos canteiros, a instalação do sensor de vazão na linha principal de irrigação e a conexão das válvulas solenoides ao sistema de controle. O conjunto eletrônico foi acondicionado em uma caixa hermética com classificação IP65, garantindo proteção contra poeira e umidade.

A Figura 9 apresenta o sistema eletrônico montado dentro da caixa hermética, evidenciando a organização dos componentes e as conexões realizadas.

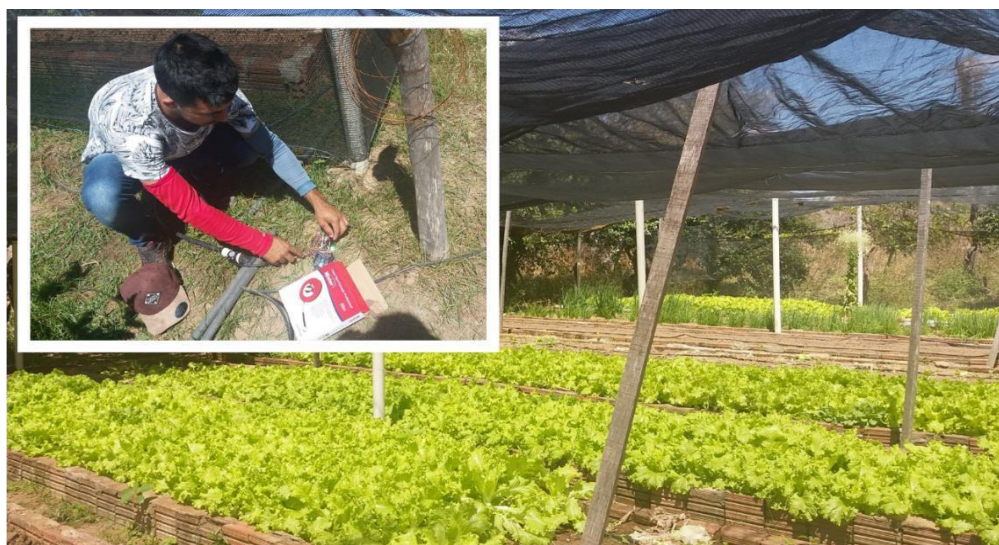
Figura 9 - Sistema eletrônico montado dentro da caixa hermética



Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 10 apresenta uma visão geral do sistema de automação instalado na horta experimental, evidenciando a disposição dos componentes e a integração com o sistema de irrigação existente.

Figura 10 - Sistema de automação instalado na horta



Fonte: Autoria própria (2018).

### 3.5 Sistema Data Logger e Armazenamento de Dados

O sistema data logger foi implementado utilizando o módulo de cartão SD, que permite o armazenamento local de dados coletados pelos sensores. Os dados foram registrados em arquivos no formato CSV (Comma Separated Values), contendo as seguintes variáveis:

- a) Data e hora da leitura (obtidas pelo módulo RTC DS3231);
- b) Umidade do solo (%) - média dos sensores);
- c) Temperatura ambiente (°C);
- d) Umidade relativa do ar (%);
- e) Volume de água aplicado (litros);
- f) Status do sistema (irrigando/em espera).

O intervalo de registro foi configurado para 15 minutos durante o período diurno (06:00 às 20:00) e 60 minutos durante o período noturno, otimizando o uso da memória disponível no cartão SD. Os dados armazenados foram periodicamente transferidos para computador para posterior análise.

A Figura 11 apresenta o esquema do circuito eletrônico implementado, ilustrando as conexões entre o Arduino Mega 2560 e os diversos módulos e sensores.



A economia de água foi estimada comparando-se o volume médio aplicado pelo sistema

A confiabilidade do sistema foi determinada pela razão entre o tempo de funcionamento

Os resultados foram sistematizados em gráficos elaborados com auxílio da linguagem R e de planilhas eletrônicas, possibilitando a visualização das tendências temporais e a comparação entre os diferentes indicadores de desempenho do sistema.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A implementação do sistema automatizado de irrigação de baixo custo na horta experimental de 80 m<sup>2</sup> apresentou resultados expressivos quanto à eficiência hídrica e à confiabilidade dos dados coletados. Os resultados obtidos corroboram a viabilidade técnica e econômica da aplicação de tecnologias baseadas em microcontroladores Arduino na agricultura familiar, em consonância com os estudos de Ayres (2024) e Pereira et al. (2020), que demonstraram o potencial dessas soluções para a otimização do uso da água em pequenas propriedades rurais.

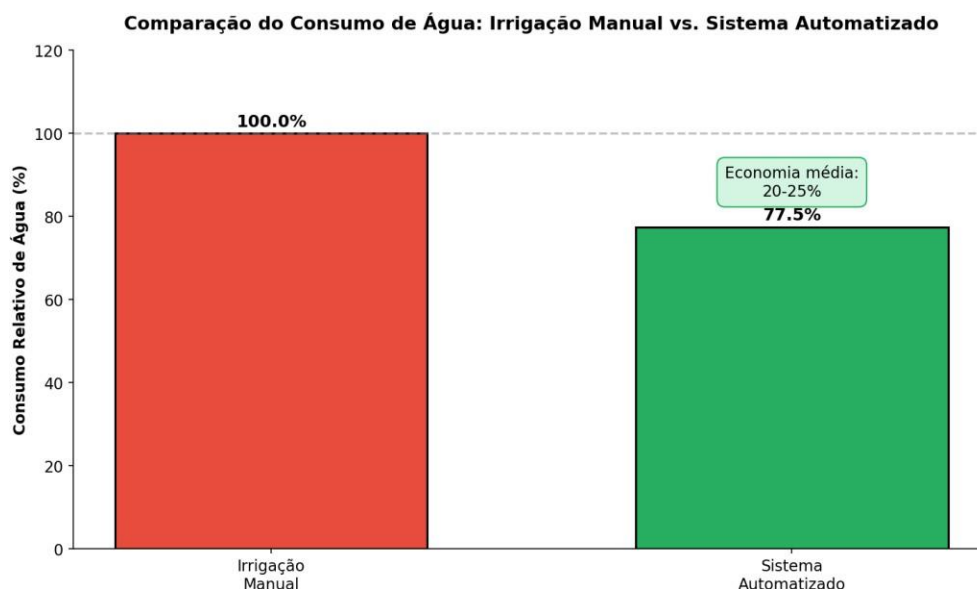
### **4.1 Eficiência no Consumo de Água**

O monitoramento contínuo do volume de água aplicado durante o período de testes (junho a dezembro de 2018) indicou uma redução média no consumo hídrico entre 20% e 25%, quando comparado às estimativas de manejo manual relatadas pelos agricultores. Segundo esses relatos, antes da implementação do sistema automatizado alguns produtores aplicavam volumes de água superiores ao recomendado para as culturas de hortaliças, o que sugere desperdício decorrente da ausência de instrumentação adequada.

Conforme destaca Marouelli (2022), sistemas de irrigação automatizados equipados com sensores de umidade do solo proporcionam maior precisão no fornecimento de água às culturas, permitindo a irrigação no momento e na quantidade adequada. Os resultados obtidos neste trabalho são coerentes com essa premissa, uma vez que o acionamento da irrigação passou a ser determinado pelas leituras dos sensores, e não por estimativa visual, contribuindo para reduzir a aplicação de água em relação ao manejo manual.

A Figura 12 apresenta a comparação entre o consumo relativo de água nos sistemas de irrigação manual e automatizado, evidenciando a economia média alcançada.

Figura 12 - Comparação do Consumo de Água: Irrigação Manual vs. Sistema Automatizado



Fonte: Autoria própria.

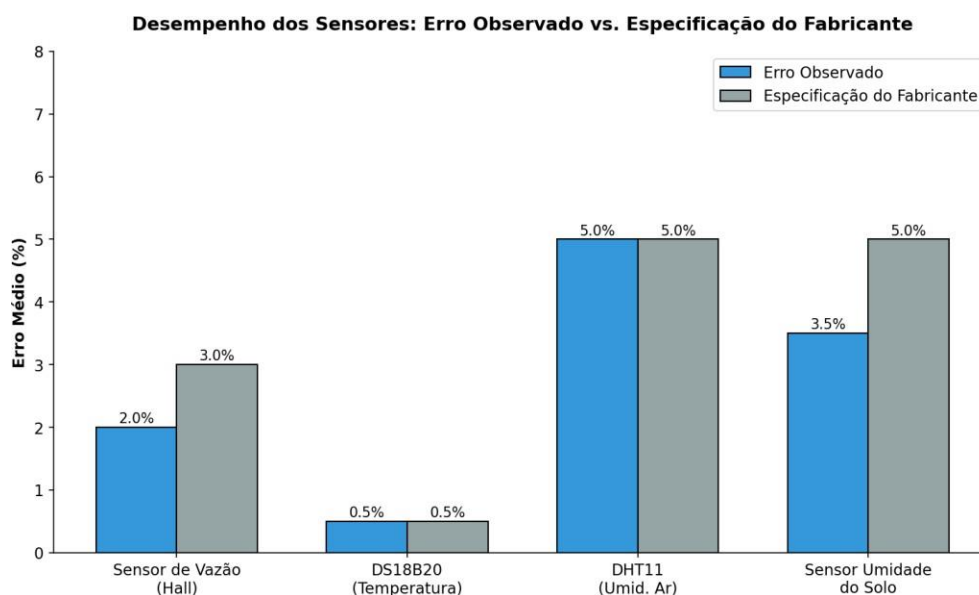
Esses resultados estão alinhados com os objetivos estabelecidos pela Política Nacional de Irrigação (Lei nº 12.787/2013), que preconiza o uso sustentável e eficiente dos recursos hídricos na agricultura. Além disso, corroboram os apontamentos da FAO (2021), segundo os quais a irrigação de precisão contribui significativamente para a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico, especialmente em regiões semiáridas.

#### 4.2 Desempenho e Calibrações dos Sensores

A avaliação do desempenho dos sensores utilizados no sistema demonstrou resultados satisfatórios, embora tenha sido necessário realizar ajustes de calibração em alguns componentes. O sensor de vazão tipo Hall apresentou erro médio de aproximadamente 2% em relação às medições de referência, valor considerado adequado para aplicações em agricultura familiar, conforme estabelecem Sood, Kaur e Lenka (2013).

Contudo, foi identificada a necessidade de recalibrar o fator de ajuste do sensor de vazão em relação às especificações do fabricante, corroborando os achados de Lalnunthari e Thanga (2018), que destacam a importância da calibração local para garantir a confiabilidade das medições em sistemas baseados em sensores de baixo custo. Os sensores de temperatura (DS18B20) e umidade do ar (DHT11) apresentaram desempenho dentro das especificações fornecidas pelos fabricantes, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Desempenho dos Sensores: Erro Observado vs. Especificação do Fabricante



Fonte: Autoria própria.

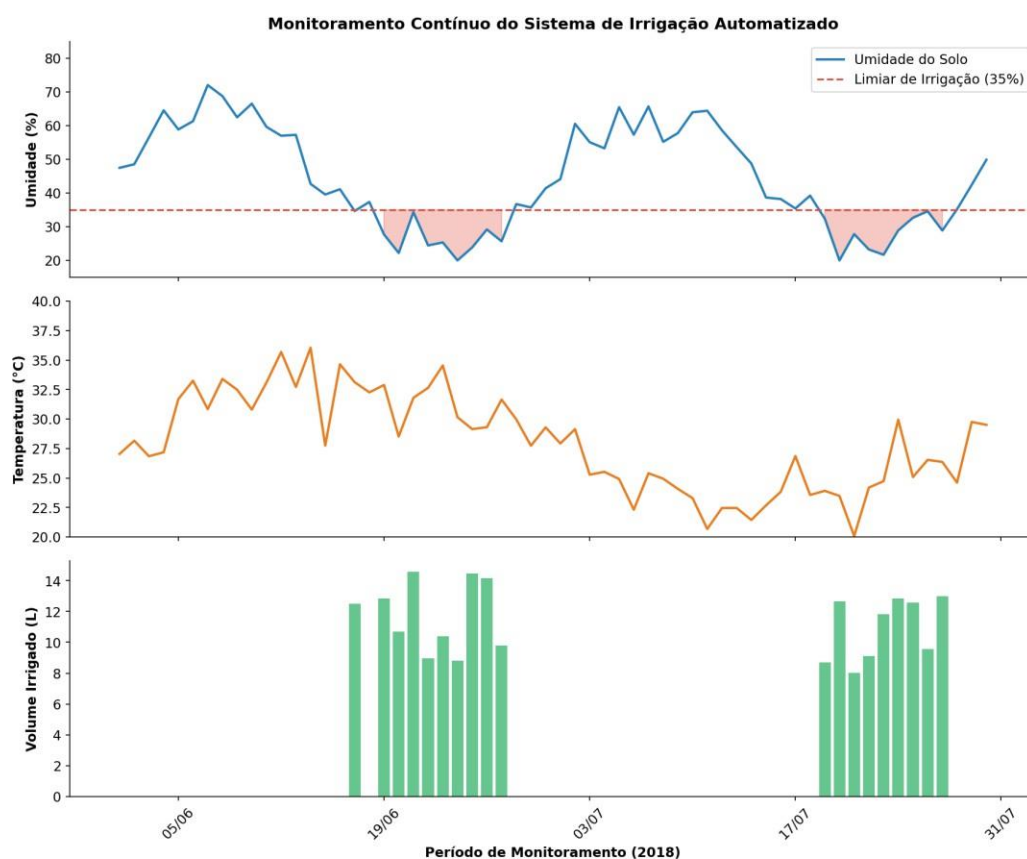
Segundo Pereira et al. (2020), a utilização de sensores integrados à plataforma Arduino permite uma gestão mais precisa da irrigação, promovendo o uso racional da água e reduzindo desperdícios. Os resultados obtidos neste trabalho reforçam essa afirmação, demonstrando que, mesmo com sensores de baixo custo, é possível alcançar níveis de precisão adequados para o manejo hídrico em pequenas propriedades rurais.

#### 4.3 Monitoramento Contínuo e Sistema Data Logger

O sistema data logger implementado com módulo de cartão SD permitiu o registro contínuo de variáveis ambientais, incluindo umidade do solo, temperatura ambiente, umidade do ar, volume de água aplicado e data/hora de cada irrigação. Os dados foram armazenados em formato CSV, possibilitando posterior análise estatística e visualização gráfica.

A Figura 14 apresenta um exemplo do monitoramento contínuo realizado durante parte do período experimental, ilustrando a dinâmica das variáveis monitoradas e os momentos de acionamento automático da irrigação. Observa-se que o sistema identificou corretamente os períodos de baixa umidade do solo (abaixo do limiar de 35%) e acionou a irrigação de forma precisa, evitando tanto o déficit hídrico quanto o excesso de água.

Figura 14 - Monitoramento Contínuo do Sistema de Irrigação Automatizado



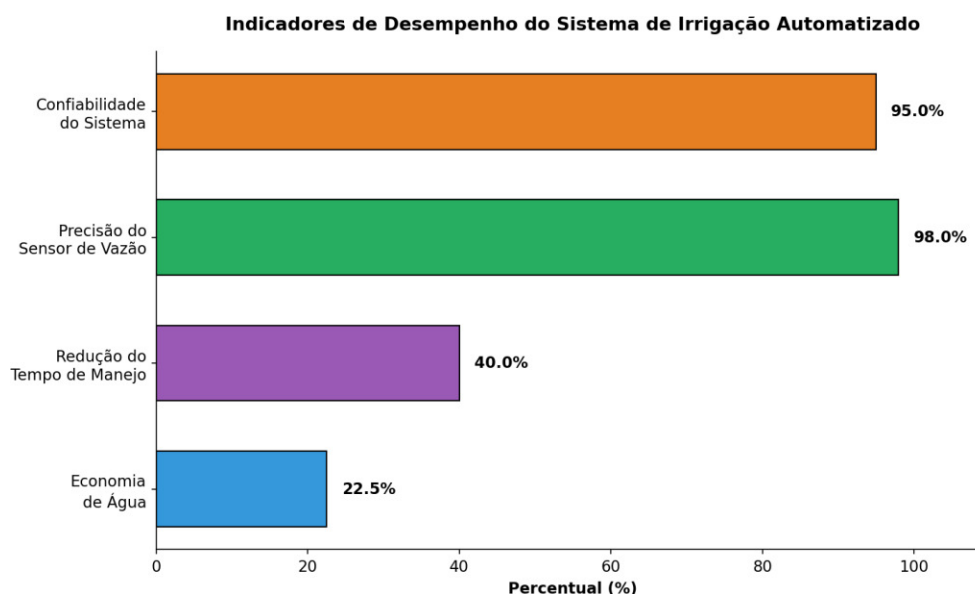
Fonte: Autoria própria.

Conforme McRoberts (2011), o uso de módulos de cartão SD em sistemas de aquisição de dados é indicado para projetos que exigem registro contínuo de informações, como o monitoramento ambiental e o controle de variáveis físicas em tempo real. Os dados coletados neste trabalho subsidiaram o ajuste do manejo da irrigação e forneceram informações úteis para instituições parceiras, como a EMATER-PB, no planejamento do uso de recursos hídricos em outros projetos.

#### 4.4 Indicadores de Desempenho do Sistema

A avaliação global do sistema de irrigação automatizado foi realizada considerando quatro indicadores principais: economia de água, redução do tempo de manejo, precisão do sensor de vazão e confiabilidade geral do sistema. Os resultados consolidados são apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Indicadores de Desempenho do Sistema de Irrigação Automatizado



Fonte: Autoria própria.

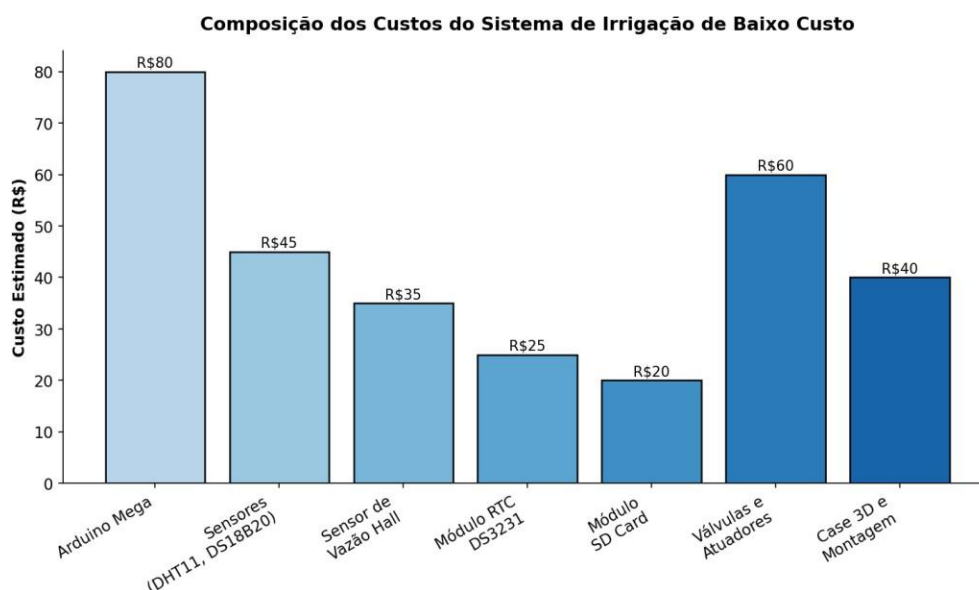
A economia de água média estimada, de aproximadamente 22,5%, representa um ganho relevante para os agricultores familiares, podendo contribuir para a redução de custos operacionais e para a conservação dos recursos hídricos em uma região caracterizada pela escassez, conforme destacam Ferreira e Vieira Filho (2021). A redução do tempo dedicado ao manejo da irrigação, estimada em aproximadamente 40% a partir dos relatos dos agricultores, liberou-os para outras atividades produtivas, aumentando a eficiência global das propriedades.

Pereira et al. (2020) destacam que a automação na irrigação representa um avanço expressivo na gestão hídrica das propriedades rurais, possibilitando ajustes automáticos que evitam desperdícios e asseguram a disponibilidade adequada de água para as culturas. Os resultados deste trabalho confirmam essa perspectiva, evidenciando que a aplicação de água diretamente nas raízes das plantas, aliada ao monitoramento em tempo real por sensores, constitui uma estratégia eficaz para a agricultura familiar em regiões semiáridas.

#### 4.5 Análise de Custo-Benefício

Um dos aspectos centrais deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de baixo custo, acessível aos pequenos agricultores familiares. A Figura 16 apresenta a composição estimada dos custos dos principais componentes utilizados na construção do protótipo e do sistema de automação.

Figura 16 - Composição dos Custos do Sistema de Irrigação de Baixo Custo



Fonte: Autoria própria.

O custo total estimado do sistema (aproximadamente R\$ 305,00) representa um investimento relativamente baixo quando comparado aos sistemas comerciais de irrigação automatizada, que podem custar várias vezes esse valor. Conforme destacam Campos e Vitória (2022), projetos baseados na cultura maker e uso de microcontroladores podem contribuir significativamente para tornar a tecnologia mais acessível aos pequenos produtores.

O conceito de open hardware utilizado pela plataforma Arduino, conforme destacado por Arduino (2025a), contribui para a redução de custos e amplia as possibilidades de personalização e manutenção do sistema pelos próprios agricultores, desde que recebam capacitação adequada. Essa característica é particularmente relevante no contexto da agricultura familiar, onde o acesso a assistência técnica especializada pode ser limitado.

#### 4.6 Limitações e Desafios Observados

Apesar dos resultados positivos alcançados, algumas limitações e desafios foram identificados durante a execução do projeto. A dependência de energia elétrica constante para o funcionamento do sistema constitui um fator limitante em propriedades rurais com fornecimento instável, situação comum em áreas remotas do semiárido brasileiro.

Conforme destaca Bittencourt (2020), diversos fatores socioeconômicos e organizacionais limitam o avanço tecnológico nas propriedades familiares, incluindo deficiências na infraestrutura e limitações relacionadas ao tamanho e à localização das

propriedades. Neste trabalho, observou-se que a adaptação local do sistema, incluindo a recalibração de sensores e o acondicionamento dos componentes eletrônicos em caixa hermética com classificação IP65, foi determinante para o bom desempenho em condições de campo.

A manutenção periódica do sistema também se mostrou necessária, especialmente no que se refere à limpeza dos sensores de umidade do solo e à verificação das conexões elétricas. Essas atividades, embora simples, requerem conhecimentos básicos que nem todos os agricultores possuem, reforçando a importância de programas de capacitação e assistência técnica contínua.

Deve-se considerar, ainda, que os resultados apresentados foram obtidos em um único local de experimentação e sob um único conjunto de condições edafoclimáticas, em uma área de 80 m<sup>2</sup> e ao longo de um único ciclo de monitoramento. Dessa forma, o potencial de replicação do sistema em outros contextos do semiárido deve ser compreendido como uma perspectiva a ser confirmada em estudos futuros, que contemplem diferentes solos, culturas e regimes climáticos.

Outra limitação refere-se ao sensor de umidade do solo, componente que governa o acionamento da irrigação: por ter sido utilizado conforme as especificações do fabricante, sem calibração para o solo local, suas leituras podem apresentar desvios em relação ao conteúdo real de água no solo. Soma-se a isso o fato de que as estimativas de economia de água e de redução do tempo de manejo basearam-se em relatos dos agricultores durante os testes em campo, e não em medições sistemáticas do manejo manual, devendo ser interpretadas como indicativas. Tais aspectos não invalidam os resultados, mas delimitam seu alcance e apontam a necessidade de medições mais controladas em trabalhos posteriores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução deste trabalho demonstrou que é possível desenvolver e implementar, com custos relativamente baixos, um sistema de automação e monitoramento de irrigação voltado para pequenas propriedades rurais em regiões semiáridas. O uso de microcontroladores, como o Arduino, aliado a sensores acessíveis e de baixo custo, mostrou-se eficiente para:

- Reduzir perdas de água, por meio do controle preciso da irrigação;
- Fornecer informações mais confiáveis aos agricultores, qualificando o manejo da água.
- Gerar dados estruturados que podem apoiar instituições de assistência técnica, como a EMATER-PB, na formulação de orientações e diagnósticos.

Apesar dos resultados positivos, recomenda-se a evolução do protótipo, com melhorias no hardware e no software, a fim de torná-lo mais resistente e adequado às condições severas do semiárido. A integração de tecnologias de conectividade sem fio (como Wi-Fi ou GSM) também representa um avanço importante, permitindo monitoramento remoto e ampliando o suporte técnico aos agricultores. Além disso, a inclusão de um sistema de placas fotovoltaicas pode tornar o protótipo energeticamente autônomo, reduzindo custos operacionais e aumentando a sustentabilidade do sistema em regiões com acesso limitado à rede elétrica.

A disseminação dessa solução em outras localidades do semiárido brasileiro pode contribuir para a otimização do uso dos recursos hídricos, o fortalecimento da agricultura familiar e a promoção de maior sustentabilidade socioeconômica na região.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 15 out. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno**. Brasília, DF: ANA, 2022. 132 p. Disponível em: [https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura\\_2021\\_pdf\\_final\\_revdirec.pdf](https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_2021_pdf_final_revdirec.pdf). Acesso em: 27 out. 2025.
- ALTIERI, Miguel A. **Agroecologia: princípios e estratégias para uma agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- AOSONG ELECTRONICS. **DHT11: digital relative humidity & temperature sensor**. Guangzhou: Aosong Electronics, 2018. Datasheet. Disponível em: [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/DHT11-Temperature-Sensor.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/DHT11-Temperature-Sensor.pdf). Acesso em: 01 Jul. 2026.
- AQUINO, Joacir R.; GAZOLLA, Márcio; SCHNEIDER, Sérgio. Tentativas de inclusão da agricultura de base ecológica no PRONAF: do otimismo das linhas de crédito verde ao sonho frustrado do I PLANAPO. **Revista Grifos**, Chapecó, v. 30, n. 51, p. 163-189, 2021. DOI: 10.22295/grifos.v30i51.5548. Disponível em: <https://pegasus.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/grifos/article/view/5548>. Acesso em: 27 out. 2025.
- ARDUINO. **O que é Arduino?** Arduino Documentation, 2025a. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino/>. Acesso em: 26 out. 2025.
- ARDUINO. **Mega 2560 Rev3**. Arduino Documentation, 2025b. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>. Acesso em: 26 out. 2025.
- ARVINDAN, A. N.; KEERTHIKA, D. Experimental investigation of remote control via Android smart phone of Arduino-based automated irrigation system using moisture sensor. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENERGY SYSTEMS (ICEES), 3., 2016, Chennai. **Proceedings [...]**. Chennai: IEEE, 2016. DOI: 10.1109/ICEES.2016.7510636. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7510636>. Acesso em: 26 out. 2025.
- AYRES, Vinnícius Okushiro. **Sistema de irrigação automatizado de baixo custo**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/9c43348a-a60e-457b-8cdd-44cc0e04bf49/content>. Acesso em: 20 out. 2025.
- BITTENCOURT, Daniela Matias de Carvalho. **Estratégias para a agricultura familiar: visão de futuro rumo à inovação**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. (Texto para Discussão, 49). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1123907/1/Texto-Discussao-49-ed-01-2020.pdf>. Acesso em: 28 out. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013**. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação. Brasília, DF: Presidência da República, 2013. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/lei/112787.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112787.htm). Acesso em: 28 out. 2025.

BUFON BOF, Vinicius. Bioenergético: cana, milho, agave, açúcar, etanol, biogás, bioeletricidade e carbono. **Revista Opiniões**, ano 20, n. 76, maio/jul. 2023. ISSN 2177-6504. Disponível em: <https://revistaopinioes.com.br>. Acesso em: 26 out. 2025.

CAMPOS, Kássio Gabriel de Lima; VITÓRIA, Havana. Cultura maker e automação para a agricultura familiar: proposta de irrigação de baixo custo com microcontrolador Arduino. **EmpíricaBR: Revista Brasileira de Gestão, Negócio e Tecnologia da Informação**, v. 2, n. 1, 2022. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/EmpiricaBR/article/view/14567>. Acesso em: 27 out. 2025.

CASTRO, César Nunes de. **Sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política**. Brasília, DF: IPEA, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7942>. Acesso em: 26 out. 2025.

COMPONENTS101. **YF-S201: water flow measurement sensor**. Components101, 2021. Disponível em: <https://components101.com/sensors/yf-s201-water-flow-measurement-sensor>. Acesso em: 26 out. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRABALHADORES RURAIS AGRICULTORES E AGRICULTORAS FAMILIARES (CONTAG). **Anuário estatístico da agricultura familiar 2024**. Brasília, DF: CONTAG, 2024. Disponível em: [https://www.fetaesc.com.br/sistema/sys/componente\\_comum/tinymce/plugins/filemanager/source/ANU%C3%81RIO%20AGRICULTURA%20FAMILIAR%202024.pdf](https://www.fetaesc.com.br/sistema/sys/componente_comum/tinymce/plugins/filemanager/source/ANU%C3%81RIO%20AGRICULTURA%20FAMILIAR%202024.pdf). Acesso em: 26 out. 2025.

CROPLIFE BRASIL. **Agenda CropLife Brasil pela inovação e sustentabilidade no agronegócio**. São Paulo: CropLife Brasil, 2023. Disponível em: [https://croplifebrasil.org/wp-content/uploads/2023/05/agenda-croplife-2023\\_web.pdf](https://croplifebrasil.org/wp-content/uploads/2023/05/agenda-croplife-2023_web.pdf). Acesso em: 16 out. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Relatório de sustentabilidade da agricultura familiar**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/995649/1/DocumentoVisaoversaocompleta.pdf>. Acesso em: 23 out. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **How to feed the world in 2050**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ak542e/ak542e.pdf>. Acesso em: 15 out. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Irrigation and drainage paper 66: crop yield response to water**. Rome: FAO, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/4/ac623e/ac623e06.htm>. Acesso em: 15 out. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **O futuro da alimentação e da agricultura: tendências e desafios**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2e90c833-8e84-46f2-a675-ea2d7afa4e24/content>. Acesso em: 15 out. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome: FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/publications>. Acesso em: 15 out. 2025.

FERNANDES, Douglas Guilherme; PREUSS, Evandro; SILVA, Teresinha Leticia da. **Sistema automatizado de controle de estufas para cultivo de hortaliças**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2017. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12958/TCCG\\_SIFW\\_2017\\_FERNANDES\\_DOUGLAS.pdf](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12958/TCCG_SIFW_2017_FERNANDES_DOUGLAS.pdf). Acesso em: 26 out. 2025.

FERREIRA, Z. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Irrigação pública e fruticultura no semiárido. **Revista de Política Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 41-55, 2021. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1595>. Acesso em: 14 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2022: população e domicílios – Princesa Isabel (PB)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/princesa-isabel.html>. Acesso em: 27 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2017: características gerais das produções agropecuária e extrativista, segundo a cor ou raça do produtor**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: [https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/pdf/agricultura\\_familiar.pdf](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/agricultura_familiar.pdf). Acesso em: 27 out. 2025.

INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH AND EDUCATION (IERE). **What environmental damage often occurs after many years of irrigation?** IERE, 16 jun. 2025. Disponível em: <https://iere.org/what-environmental-damage-often-occurs-after-many-years-of-irrigation/>. Acesso em: 26 out. 2025.

LALNUNTHARI, J.; THANGA, H. H. Dependence of hall effect flow sensor frequency on the attached inlet and outlet pipe size. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSUMER ELECTRONICS-ASIA (ICCE-Asia), 2017, Bangkok. **Proceedings [...]**. [S. l.]: IEEE, 2018. p. 56-60. DOI: 10.1109/ICCE-ASIA.2017.8307842. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICCE-ASIA.2017.8307842>. Acesso em: 27 out. 2025.

LIMA, Antônia Francisca; SILVA, Edvânia Gomes de Assis; IWATA, Bruna de Freitas. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, 2019. ISSN 1516-8182. Disponível em: <https://retratosdeassentamentos.com/index.php/retratos/article/view/332/294>. Acesso em: 26 out. 2025.

LIU, Zihao; LV, Aifeng; LI, Tao. Intensified drought threatens future food security in major food-producing countries. **Atmosphere**, Basel, v. 16, n. 1, art. 34, 2025. DOI: 10.3390/atmos16010034. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/16/1/34>. Acesso em: 26 out. 2025.

MARQUELLI, Waldir Aparecido. **Manejo da água de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cebola/producao/irrigacao/manejo-da-agua-de-irrigacao>. Acesso em: 26 out. 2025.

MARTINAZZO, C. A.; FERRARI, D.; PIAIA, M. M. Arduino: uma tecnologia. **Perspectiva**, Erechim, v. 38, n. 143, p. 21-30, 2014.

MAXIM INTEGRATED. **DS18B20: programmable resolution 1-Wire digital thermometer**. San Jose: Maxim Integrated, 2019. Datasheet. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>. Acesso em: 01 Jul. 2026.

MAXIM INTEGRATED. **DS3231: extremely accurate I<sup>2</sup>C-integrated RTC/TCXO/crystal**. San Jose: Maxim Integrated, 2015. Datasheet. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds3231.pdf>. Acesso em: 01 Jul. 2026.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

MORAIS, G. A. S.; SILVA, F. F.; FREITAS, C. O.; BRAGA, M. J. Irrigation, technical efficiency, and farm size: the case of Brazil. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 3, art. 1132, 2021. DOI: 10.3390/su13031132. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1132>. Acesso em: 14 out. 2025.

PEREIRA, Francisco Aécio de Lima; SILVA, Suedêmio de Lima; MEDEIROS, José Francismar de; FIGUEIRÊDO, Vladimir Batista; QUEIROZ JÚNIOR, Idalmir de Souza; SOUSA NETO, Marinaldo Pinheiro de. Automação de precisão utilizando Arduino e inversor de frequência aplicado a sistemas de irrigação por válvulas. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 27-37, jan./mar. 2020. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2805>. Acesso em: 20 out. 2025.

SCHNEIDER, Sergio; CASSOL, Abel. **A agricultura familiar no Brasil**. Santiago: Rimisp, 2013. (Documentos de Trabalho, 145). Disponível em: [https://www.rimisp.org/wp-content/files\\_mf/1438617722145AgriculturaFamiliarBrasil\\_ShneiderCassol\\_editado.pdf](https://www.rimisp.org/wp-content/files_mf/1438617722145AgriculturaFamiliarBrasil_ShneiderCassol_editado.pdf). Acesso em: 26 out. 2025.

SEBRAE. **Sistemas de irrigação inteligente: sustentabilidade e eficiência na agricultura orgânica**. Curitiba: SEBRAE/PR, 2024. Disponível em: <https://polosebraeagro.sebrae.com.br/wp-content/uploads/2024/06/Sistemas-de-Irrigacao-Inteligente-Relatorio-de-Inteligencia-Sebrae-Goias.pdf>. Acesso em: 20 out. 2025.

SOOD, Vishal; KAUR, Manjit; LENKA, S. K. Measurement of flow rate using low-cost sensors: accuracy and calibration issues. **International Journal of Engineering Research**, v. 2, n. 6, p. 101-107, 2013. Disponível em: <https://www.ijern.com/journal/June-2013/09.pdf>. Acesso em: 27 out. 2025.

UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **The United Nations world water development report 2023: partnerships and cooperation for water**. Paris: UNESCO, 2023. 189 p. ISBN 978-92-3-100576-3. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657_por). Acesso em: 23 out. 2025.

|                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>               |
|                                                                                   | Campus Princesa Isabel - Código INEP: 25282930                                      |
|                                                                                   | Br 426, S/N, Zona Rural / Sítio Barro Vermelho, CEP 58755-000, Princesa Isabel (PB) |
|                                                                                   | CNPJ: 10.783.898/0007-60 - Telefone: (83) 3065.4901                                 |

Documento Digitalizado Restrito

TCC

|                      |                                                    |
|----------------------|----------------------------------------------------|
| Assunto:             | TCC                                                |
| Assinado por:        | Daniely Lima                                       |
| Tipo do Documento:   | Anexo                                              |
| Situação:            | Finalizado                                         |
| Nível de Acesso:     | Restrito                                           |
| Hipótese Legal:      | Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011) |
| Tipo do Conferência: | Cópia Simples                                      |

Documento assinado eletronicamente por:

- Daniely Silva Lima, ALUNO (201714010015) DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL - PRINCESA ISABEL, em 09/07/2026 09:56:21.

Este documento foi armazenado no SUAP em 09/07/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1907710  
Código de Autenticação: ce8feb098b

