



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM MEIO AMBIENTE**

**BRENDA PAULINO COSTA
WALDSSON SACRAMENTO DOS SANTOS**

**SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE IRRIGAÇÃO BASEADO EM ARDUINO
PARA CULTURAS DE PEQUENO PORTE**

**PENEDO, AL
2023**

BRENDA PAULINO COSTA
WALDSSON SACRAMENTO DOS SANTOS

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE IRRIGAÇÃO BASEADO EM ARDUINO PARA
CULTURAS DE PEQUENO PORTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Meio Ambiente do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Meio Ambiente.

Orientadora: Prof. Alline Gomes
Lamenha e Silva

PENEDO, AL
2023



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

C838c

Costa, Brenda Paulino.

Sistema de gerenciamento de irrigação baseada em Arduino para culturas de pequeno porte/ Brenda Paulino Costa, Waldsson Sacramento dos Santos.

42f.: il.

Orientação: Prof.^a Alline Gomes Lamenha e Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Meio Ambiente) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2023.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Arduino 2. Irrigação automatizada.. 3. Gerenciamento hídrico. 4. Hortas. I. Santos, Waldsson Sacramento dos. II. Silva, Alline Gomes Lamenha e. III. Título.

CDD:629.89

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

BRENDA PAULINO COSTA
WALDSSON SACRAMENTO DOS SANTOS

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE IRRIGAÇÃO BASEADO EM ARDUINO PARA
CULTURAS DE PEQUENO PORTE

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado ao Curso Técnico de Nível
Médio Integrado em Meio Ambiente do
Instituto Federal de Alagoas, *campus*
Penedo, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Técnico em Meio
Ambiente.

APROVADO(A) EM: 05/12/2023.

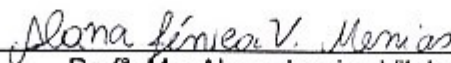
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr.ª Alina Gomes Lamenha e Silva
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof. Dr. Tiago de Moraes Lenz
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof.ª Me. Alana Jessica Vilela Messias
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

AGRADECIMENTO

Agradecemos, em primeiro lugar, a Deus, fonte de força e inspiração, por guiar nossos passos ao longo desta jornada acadêmica.

Às nossas famílias, alicerce fundamental de amor e apoio, que nos incentivaram nos momentos desafiadores e celebraram conosco nas conquistas.

Aos nossos colegas de classe companheiros de jornada, que partilharam risos, desafios e momentos inesquecíveis.

À professora Alline Gomes Lamenha e Silva, não só pela orientação, mas por toda a compreensão que recebemos durante a construção desse trabalho.

À professora Maria Lilian de Freitas Lima por todo apoio e motivação.

Aos nossos professores, mentores dedicados, que compartilharam conhecimento, paciência e encorajamento, moldando não apenas nossas habilidades acadêmicas, mas também nosso caráter.

RESUMO

Diversas inovações tecnológicas têm sido utilizadas visando obter um melhor aproveitamento da água doce do mundo, buscando evitar a escassez desse bem natural essencial. Especialmente para produção de alimentos, o gerenciamento da irrigação é fundamental para garantir a sustentabilidade da produção. O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e a avaliação de um sistema de gerenciamento de irrigação baseado na plataforma Arduino, visando reduzir o desperdício de água. Com base nos dados coletados por meio de sensores de umidade em diferentes amostras de solo, o algoritmo de decisão desenvolvido determina quando ativar a irrigação. Ao relacionar a resistência elétrica com a umidade volumétrica do solo, é possível determinar o acionamento da bomba de irrigação. A calibração confiável dos sensores mostrou-se uma etapa fundamental, possibilitando um manejo mais eficaz da irrigação, permitindo o uso eficiente da água e possibilitando aumentar rendimentos das culturas. Adicionalmente, o armazenamento de dados sobre a umidade e temperatura possibilitou a construção de um banco de dados para futuras análises e aprimoramentos do sistema. As conclusões deste estudo destacam a viabilidade e o potencial deste sistema de irrigação automatizado para melhorar a eficiência hídrica na produção local de alimentos, contribuindo para a sustentabilidade desse processo.

Palavras-chave: Gerenciamento hídrico; Automação; Hortas; Meio Ambiente; Tecnologias para agricultura; Irrigação eficaz.

ABSTRACT

Various technological innovations have been used to optimize the utilization of the world's fresh water resources, in an attempt to avoid the scarcity of this essential natural resource. Especially for food production, irrigation management is essential to ensure the sustainability of production. The aim of this work is to develop and evaluate an irrigation management system based on the Arduino platform, intended to reduce water waste. Based on the data collected through moisture sensors in different soil samples, the developed decision algorithm determines when to activate irrigation. By relating electrical resistance with volumetric soil moisture, it is possible to determine when to activate the irrigation pump. Reliable sensor calibration was a fundamental step, enabling more effective irrigation management, enabling the efficient utilization of water and increasing crop yields. In addition, the storage of humidity and temperature data facilitated the creation of a database for future analysis and system improvements. This study's outcomes highlight the viability and potential of the proposed automated irrigation system to improve water use efficiency in local food production, contributing to the sustainability of this process.

Keywords: Water management; Automation; Vegetable gardens; Environment; Technologies for agriculture; Efficient irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de água doce no mundo, pelos diferentes usos.	10
Figura 2- Horta orgânica do IFAL Campus Penedo.....	14
Figura 3 - Fluxograma de funcionamento do algoritmo.	15
Figura 4 - Cartão SD e Módulo de Cartão SD para Arduino.....	17
Figura 5 - Diagrama de construção do sistema.....	18
Figura 6 - Amostras de solo 1 e 2 respectivamente.	20
Figura 7 - Amostra de solo natural I com sensor de umidade do solo HL-69.	21
Figura 8 - Medição do Sensor HL69 para Amostra I natural.	21
Figura 9 - Medição do Sensor HL69 para Amostra II natural.	22
Figura 10 - Amostras I e II após secagem na estufa.	22
Figura 11 - Medição do Sensor HL69 para Amostra I seca.	23
Figura 12 - Medição do Sensor HL69 para Amostra II seca.	23
Figura 13 - Medidas da água para Amostra I e II, respectivamente	24
Figura 14 - Medição do Sensor HL69 para Amostra I com 100% de umidade.....	24
Figura 15 - Medição do Sensor HL69 para Amostra II com 100% de umidade.....	25
Figura 16 - Valores identificados pelo sensor para as amostras de solo em diferentes umidades.....	25
Figura 17 - Amostras de solo utilizadas nesse estudo.	26
Figura 18 - Sensores em funcionamento diretamente na amostra de solo 1.	27
Figura 19 - Sistema em funcionamento na amostra de solo 1.	27
Figura 20 - Sensores em funcionamento diretamente na amostra de solo 2.	28
Figura 21 - Sistema em funcionamento na amostra de solo 2.	28
Figura 22 - Sensores em funcionamento diretamente na amostra de solo 3.	29
Figura 23 - Sistema em funcionamento na amostra de solo 3.	29
Figura 24 - Demonstração das bibliotecas utilizadas	31
Figura 25 - Demonstração da variável "int limiteUmd" que deve ter seu valor alterado de acordo com o nível de umidade do solo desejado.	31
Figura 26 - Sensor em funcionamento diretamente na amostra de solo 3.	32
Figura 27 - Exemplo da comunicação através do monitor serial.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	Sistemas Automatizados de Irrigação na Produção de Pequeno Porte	12
3.2	Sistemas Automatizados de Irrigação de Hortas Escolares	13
4	MATERIAL E MÉTODO	15
5	RESULTADOS	18
5.1	Parâmetros para o Acionamento da Bomba	18
5.2	Calibração do Sensor de Umidade do Solo (HL-69).....	19
5.3	Montagem do Sistema	26
5.4	Elaboração do algoritmo	30
6	CONCLUSÃO.....	33
	REFERÊNCIAS.....	35
	APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE.....	37

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água tem sido um dos assuntos mais debatidos dos últimos tempos, elevando a importância da racionalização de água no mundo. Selborne (2001) afirma que os problemas de água do mundo não são causados pela falta de água, mas sim pela má distribuição de água, conhecimento e recursos.

Segundo estimativas amplamente reconhecidas, a maior parte da água no planeta é de natureza salgada, na qual vivem seres microscópicos ou macroscópicos. No entanto, a água salgada não é apropriada para o consumo de quase a totalidade dos seres aquáticos de água doce ou seres terrestres, inclusive os seres humanos. Por conta dos sais dissolvidos, não é possível usar esta água sem um tratamento prévio, seja para irrigação, dessedentação dos animais e ou mesmo na indústria (PALHARES et al., 2021).

Sabe-se que a maior parte da água doce disponível no planeta encontra-se na forma de gelo, correspondendo a cerca de 68,7% dos recursos hídricos globais. Além disso, os aquíferos subterrâneos armazenam aproximadamente 27% da água doce disponível no mundo, o que representa uma proporção significativa dos recursos hídricos do planeta. Esses dados evidenciam a importância de se compreender a distribuição e disponibilidade dos recursos hídricos para a gestão sustentável da água. (SPERLING, 2006)

Conforme apresentado na Figura 1, a maior parte do consumo da água doce disponível no mundo é destinada ao uso agrícola. Tendo em vista a expressividade do uso da água para esse fim, algumas questões relacionadas ao desenvolvimento do plantio e à sustentabilidade desse processo são levantadas para que haja um bom manejo desse bem natural.

Figura 1 - Consumo de água doce no mundo, pelos diferentes usos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023), com dados de Telles (2002).

A preocupação com o desenvolvimento do plantio é inevitável para o pequeno produtor, pois pode colocar em risco o trabalho e o sustento de sua família. Há uma maior necessidade de irrigação das plantações no período de estiagem, comparado com o período chuvoso. Pensando nisso, o processo de irrigação automatizada busca otimizar o uso dos recursos hídricos, e diminuir o tempo de serviço do produtor (QUITAISKI et al., 2018).

A implementação de novas tecnologias para irrigação traz maiores chances de sustentabilidade e redução de impactos ambientais. Para pequenos produtores, a implantação de tecnologias de baixo custo tem o potencial de reduzir o desperdício de recursos hídricos e gerar renda para as famílias, sendo possível encontrar resultados positivos na produção e nos custos do produto, além de criar maior sustentabilidade e a conservação do meio ambiente (SOUSA et al., 2022).

A ampliação do uso de sistemas de irrigação automatizada, traz benefícios para o meio ambiente, não apenas na redução do volume de água utilizado, mas também na redução de uso de agrotóxicos e o aumento na produtividade de culturas de legumes e hortaliças orgânicas produzidas localmente e em pequenos espaços (SILVA e ARAÚJO, 2022).

Um dos países que se destacam nesse quesito é o Japão: no país, puderam ser identificadas 31 patentes sobre sistemas automatizados, entre os anos de 1972 e 2016. Em contrapartida, o Brasil, com apenas 2 patentes registradas, tem chances de aumentar este número e criar formas de reduzir o consumo de água para irrigação de jardins, hortas e pequenas plantações com os sistemas automatizados, se baseando na experiência já apresentada por outros países que obtiveram sucesso em suas pesquisas (OLIVEIRA et al., 2022).

Outra maneira de utilizar o sistema de irrigação automatizado é nos jardins verticais, usados em sua grande maioria em locais com poucos espaços para criação de canteiros. É possível criar ambientes mais verdes e pequenos jardins ou hortas verticais domésticas, sendo possível atribuir uma maior qualidade de vida e sustentabilidade na escala residencial (VEIGA; MONTANHA, 2021).

O sistema também pode ser utilizado em projetos de agricultura urbana, como hortas comunitárias e fazendas urbanas. Isso pode ajudar a aumentar a eficiência da irrigação e a produtividade das culturas, além de reduzir o consumo de água.

Sistemas de produção local de alimentos também vêm sendo desenvolvidos nas escolas, a fim de levar uma boa alimentação, vida e sustentabilidade para dentro das instituições de ensino (CRUZ et al., 2018; SILVA et al., 2016; FERREIRA et al., 2020; SILVA, 2022). Esses projetos demonstram o potencial do uso da tecnologia para aprimorar a irrigação em diferentes contextos, e podem ser fontes de inspiração para o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramentos de novos sistemas locais para otimização da irrigação para culturas de pequeno porte.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de gerenciamento de irrigação automatizado de baixo custo e com fácil manutenção, a partir da plataforma Arduino, para pequenos canteiros e hortas verticais, com o intuito de otimizar espaços e utilizar água de forma consciente, evitando o desperdício desse bem natural durante a irrigação.

2.2 Objetivos específicos

Buscou-se desenvolver e avaliar um sistema de gerenciamento de irrigação automatizado utilizando Arduino, capaz de monitorar a umidade do solo e a temperatura/umidade do ar, acionar a bomba de água conforme as necessidades das plantas e apresentar informações em um conjunto de LED's e um display LCD. Para tal, o trabalho buscou alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre sistemas de irrigação automatizados e suas aplicações;
- Selecionar os componentes necessários e montar o circuito eletrônico do sistema de irrigação automatizado;
- Desenvolver o código utilizando linguagem de programação C++ para o Arduino;
- Verificar potencialidades de uso do sistema de irrigação automatizado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sistema de irrigação automatizado desenvolvido neste trabalho apresenta diversas potencialidades de uso, que podem beneficiar diferentes contextos agrícolas. Além das características específicas do sistema desenvolvido, é relevante explorar as experiências e os resultados alcançados por outros autores que utilizaram sistemas semelhantes em suas pesquisas. Essas informações podem contribuir para uma compreensão mais ampla das possibilidades de implantação e uso do sistema.

3.1 Sistemas Automatizados de Irrigação na Produção de Pequeno Porte

O sistema de irrigação automatizado mostra-se particularmente vantajoso para pequenos canteiros e hortas verticais em ambientes familiares e escolares. Nesses contextos, o sistema oferece uma solução acessível, de fácil manutenção e baixo custo, permitindo que os agricultores familiares e estudantes tenham acesso a um método eficiente de irrigação (SILVA et al., 2021).

A aplicação do sistema de irrigação automatizado também se destaca na agricultura urbana e vertical. Com o aumento da agricultura em ambientes urbanos e espaços limitados, o sistema oferece a possibilidade de otimizar o uso de água e monitorar a umidade do solo em diferentes níveis ou vasos de plantas, contribuindo para a sustentabilidade e a produção de alimentos em áreas urbanas (LIMA et al., 2019).

A utilização do sistema automatizado de irrigação é particularmente relevante na agricultura orgânica e sustentável. Ao permitir o monitoramento preciso da umidade do solo e a aplicação adequada de água, o sistema contribui para práticas agrícolas mais conscientes, evitando o desperdício de recursos hídricos e promovendo o cultivo de alimentos saudáveis e livres de agrotóxicos (BARBOSA et al., 2020).

Estudos de caso relatados por outros autores demonstram o potencial do sistema de irrigação automatizado em termos de resultados alcançados. Por exemplo, Barbosa et al. (2020) relataram melhorias na uniformidade da distribuição de água e no crescimento das plantas ao utilizar um sistema automatizado em estufas de produção de hortaliças. Esses resultados evidenciam a eficácia do sistema na melhoria das condições de cultivo e na maximização da produtividade.

Além disso, Santos et al. (2020) destacaram a economia de água e a otimização dos recursos obtidos por meio do sistema automatizado em um estudo de caso realizado na agricultura familiar. Os resultados obtidos nesse estudo reforçam a viabilidade e a relevância do sistema de irrigação automatizado como uma solução eficiente para pequenos agricultores.

3.2 Sistemas Automatizados de Irrigação de Hortas Escolares

Um exemplo de horta comunitária escolar pode ser observado no Instituto Federal de Goiás (IF Goiano), implementada visando uma melhor educação alimentar e estabelecendo uma aproximação dos alunos com o meio ambiente. Nesse projeto, um sistema desenvolvido em Arduino foi implementado por alunos, de modo a possibilitar a irrigação automatizada da horta escolar (SILVA, J, 2022).

Também na Universidade do Paraná (UFPR), foi realizado um experimento nesse sentido, utilizando sistema de irrigação automatizado. Na demonstração da tecnologia, os resultados alcançados foram positivos, em termos da produtividade para a plantação de uvas, e da redução de mão de obra e recurso hídrico (FERREIRA et al., 2020).

Outros projetos que buscam desenvolver sistemas semelhantes de irrigação automatizada, incluem o projeto “Sistema de Irrigação Automatizado baseado em Arduino”, desenvolvido por estudantes da Universidade Federal de Campina Grande, que utiliza sensores de umidade do solo e temperatura para automatizar a irrigação em plantações de milho, e o projeto “Irrigação Inteligente”, desenvolvido por estudantes da Universidade Estadual de Campinas, que utiliza um sistema de

irrigação por gotejamento com controle de fluxo para irrigar culturas de tomate (COELHO et al., 2020).

Uma pesquisa foi realizada pelos alunos do colégio Santana, em Aracaju/SE, onde foi utilizado o Arduino UNO como microcontrolador responsável pelo irrigador automatizado em canteiros de hortas dentro da escola, com resultados positivos. Com o projeto, a inclusão da tecnologia otimizou o processo de produção de alimentos, contribuindo para promover a alimentação saudável no local (CRUZ et al., 2018).

Na mesma linha de pesquisa e inovação, a horta orgânica do IFAL Campus Penedo (**Figura 2- Horta orgânica do IFAL Campus Penedo** Figura 2) surge como um cenário promissor para a implantação do sistema de gerenciamento de irrigação baseado em Arduino. Com culturas orgânicas, como abóbora, batata doce e macaxeira, já em prática, a introdução de um sistema automatizado de irrigação representa uma oportunidade para aprimorar ainda mais a eficiência da produção, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade.

Figura 2- Horta orgânica do IFAL Campus Penedo



Fonte: Autores (2023).

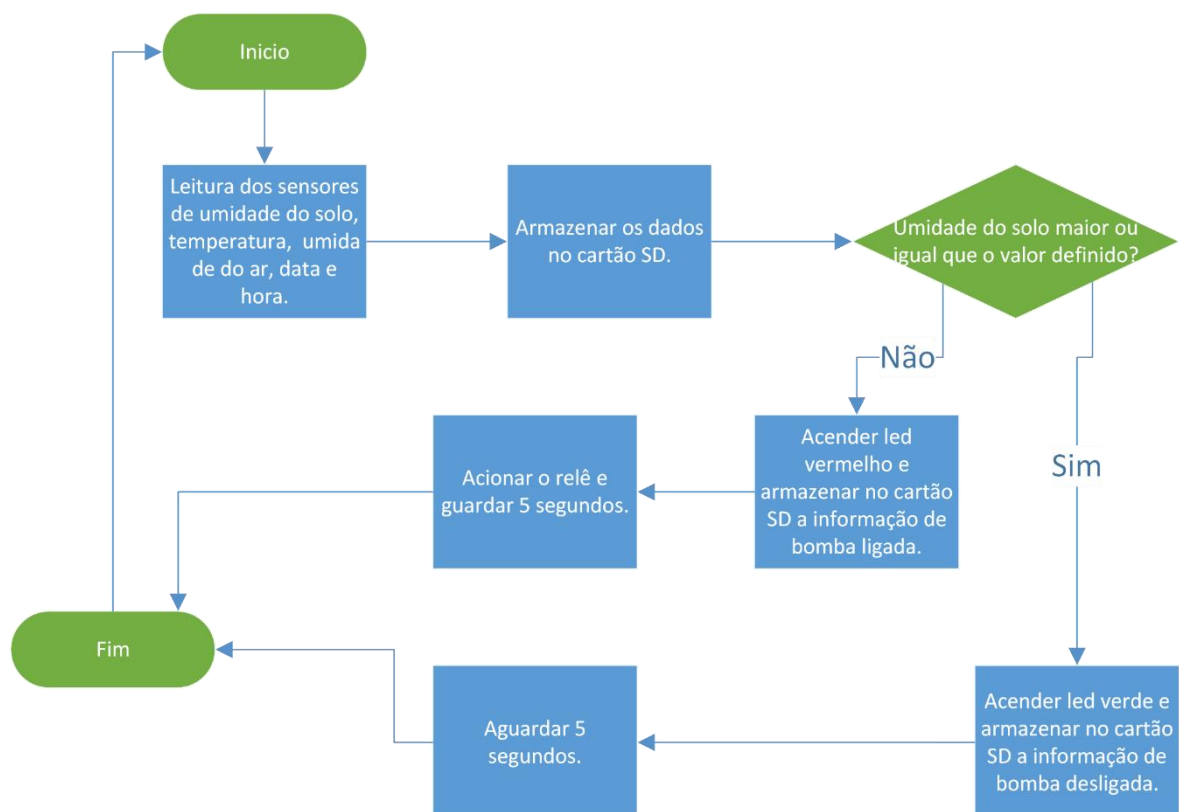
Dessa forma, a experiência adquirida em outros projetos pode servir de inspiração para a implementação bem-sucedida desse sistema na horta do IFAL Campus Penedo.

4 MATERIAL E MÉTODO

Para o desenvolvimento do sistema de irrigação automatizado, foi utilizada a plataforma de prototipagem Arduino Uno, que, além do baixo custo, apresenta fácil utilização. A principal tarefa do Arduino é receber os dados de um sensor de umidade do solo, com base no qual o sistema de decisão determina o acionamento do sistema de irrigação, que pode ser uma bomba d'água ou uma válvula solenoide.

O processo de desenvolvimento e programação da plataforma de prototipagem eletrônica de hardware, está representado no fluxograma apresentado na Figura 3. Esse fluxograma tem como finalidade orientar a implementação do algoritmo responsável por tomar decisões sobre a irrigação automatizada, considerando os dados coletados.

Figura 3 - Fluxograma de funcionamento do algoritmo.



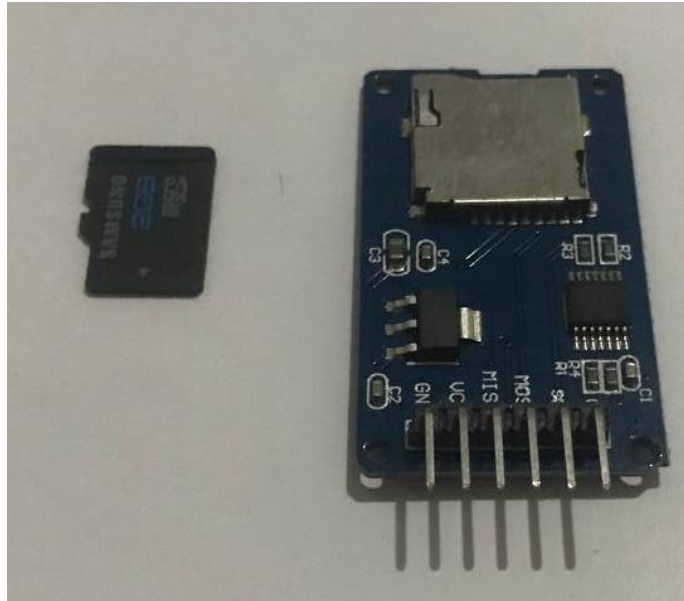
Fonte: Autores (2023).

Para a construção do sistema, foram necessários os equipamentos listados abaixo:

- Plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única (Arduino Uno);
- Fonte de alimentação 9v;
- Sensor de umidade do solo;
- Sensor de temperatura/umidade do ar;
- Módulo de relógio;
- Módulo cartão;
- 3 leds das cores: verde, vermelho e amarelo
- Display LCD 16x2;
- Módulo relé 2 canais;
- Bomba de água;
- Reservatório de água;
- Jumpers e uma Protoboard.

A prototipagem eletrônica de hardware foi implementada utilizando o Arduino como plataforma de desenvolvimento. Os sensores utilizados coletam dados de umidade do solo e temperatura do ar, que são armazenados em um cartão SD (Figura 44). O dispositivo de armazenamento de dados pode ser facilmente conectado ao Arduino, permitindo que os dados coletados pelos sensores sejam armazenados diretamente no cartão.

Figura 4 - Cartão SD e Módulo de Cartão SD para Arduino.

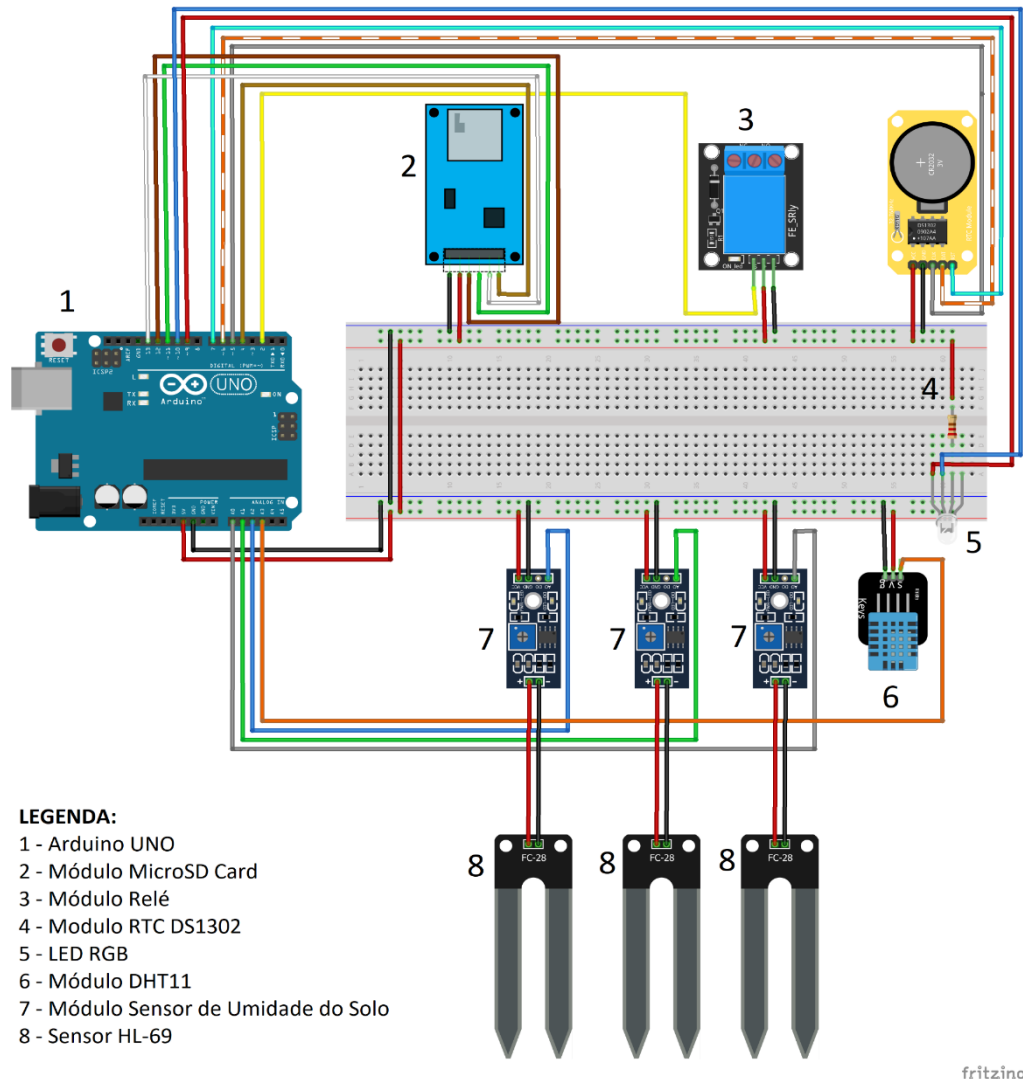


Fonte: Autores (2023).

Para a calibração dos sensores de umidade de solo, foram utilizados três béqueres contendo diferentes amostras de solo: o primeiro com solo seco, o segundo com solo pouco úmido e o terceiro com solo encharcado, respectivamente (numerados de 1 a 3). Os sensores de umidade de solo realizaram as leituras e enviaram os dados para o sistema do Arduino, que, por sua vez, utilizou um algoritmo para tomar decisões sobre a irrigação automatizada.

O diagrama Figura 55 ilustra os componentes e a estrutura do sistema.

Figura 5 - Diagrama de construção do sistema.



Fonte: Autores (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros para o Acionamento da Bomba

O algoritmo desenvolvido para a implementação no microcontrolador tem como objetivo promover o acionamento de início ou parada da bomba, de acordo com a análise dos dados coletados pelos sensores. Dessa forma, o sistema de irrigação automatizada é capaz de otimizar o fornecimento de água para as plantas, garantindo que elas recebam a quantidade ideal de água e evitando o desperdício de recursos hídricos.

No projeto de irrigação automatizada desenvolvido, os dados de temperatura e umidade do ar não influenciam diretamente na tomada de decisão da função de ligar e desligar a bomba, que é acionada considerando-se apenas os valores identificados

pelos sensores de umidade do solo. No entanto, esses dados são coletados pelos sensores e armazenados no cartão SD do sistema, juntamente com os dados de umidade do solo, para construção de um banco de dados que possa ser utilizado em análises posteriores do sistema.

Segundo Moura et al. (2018) a coleta de dados em sistemas de irrigação é fundamental para o monitoramento das condições ambientais e das características do solo, permitindo a realização de análises comparativas que auxiliam na tomada de decisões. Ainda que os dados de temperatura e umidade do ar não afetem diretamente na função de irrigação, eles podem ser úteis para a análise do desempenho do sistema, como sugerido por Santos et al. (2017).

Nesse sentido, o armazenamento dos dados em cartões SD é uma solução viável e de baixo custo para a construção de um banco de dados completo, como apontado por Moura et al. (2018). Dessa forma, mesmo que os dados de temperatura e umidade do ar não influenciem diretamente na função de irrigação neste momento, a coleta e armazenamento desses dados podem ser importantes para o monitoramento e análise do desempenho do sistema, e para seu aprimoramento futuro.

O formato de arquivo utilizado para o armazenamento dos dados é o .csv, que é um formato de arquivo comum para banco de dados em formato de tabela. Esse arquivo pode ser aberto e interpretado por diferentes softwares de análise de dados, o que permite realizar diferentes tipos de análise sobre o desempenho do sistema de irrigação automatizada.

5.2 Calibração do Sensor de Umidade do Solo (HL-69)

Durante a fase de testes do sistema de irrigação automatizada, foi possível avaliar o desempenho e a eficiência do sistema em um ambiente controlado. Segundo Tavares e Ferreira (2016, p. 91), os testes em ambientes controlados são importantes para "permitir a manipulação de variáveis, possibilitando a repetição de condições em diferentes momentos e facilitando a comparação de resultados obtidos". Com isso, os dados coletados possibilitaram a definição dos parâmetros para a tomada de decisões do algoritmo, o acionamento da bomba de irrigação e o armazenamento dos dados coletados em um arquivo .csv.

A calibração do sensor de umidade do solo é um processo fundamental para determinar os níveis de umidade que acionarão o sistema de irrigação proposto. Nesta

seção, serão descritas as etapas de calibração realizadas utilizando o sensor HL-69, bem como os resultados obtidos e sua análise.

Inicialmente, foram coletadas duas amostras de solo do local de estudo, identificadas como Amostra I e Amostra II. As amostras foram pesadas utilizando uma balança, como ilustrado na Figura 6, antes de serem colocadas na estufa para o processo de secagem.

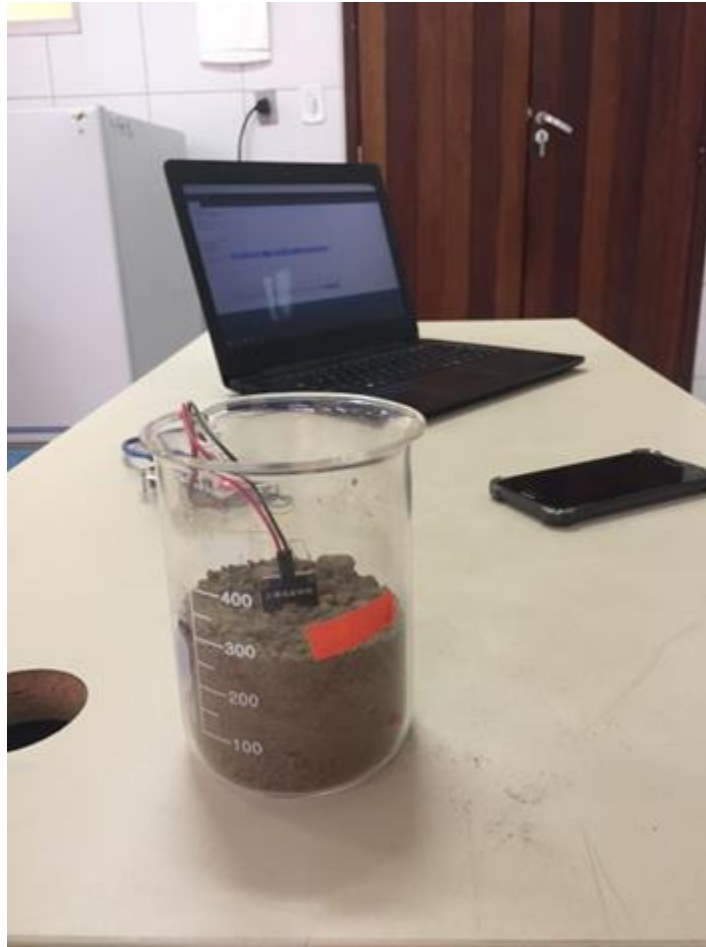
Figura 6 - Amostras de solo 1 e 2 respectivamente.



Fonte: Autores (2023).

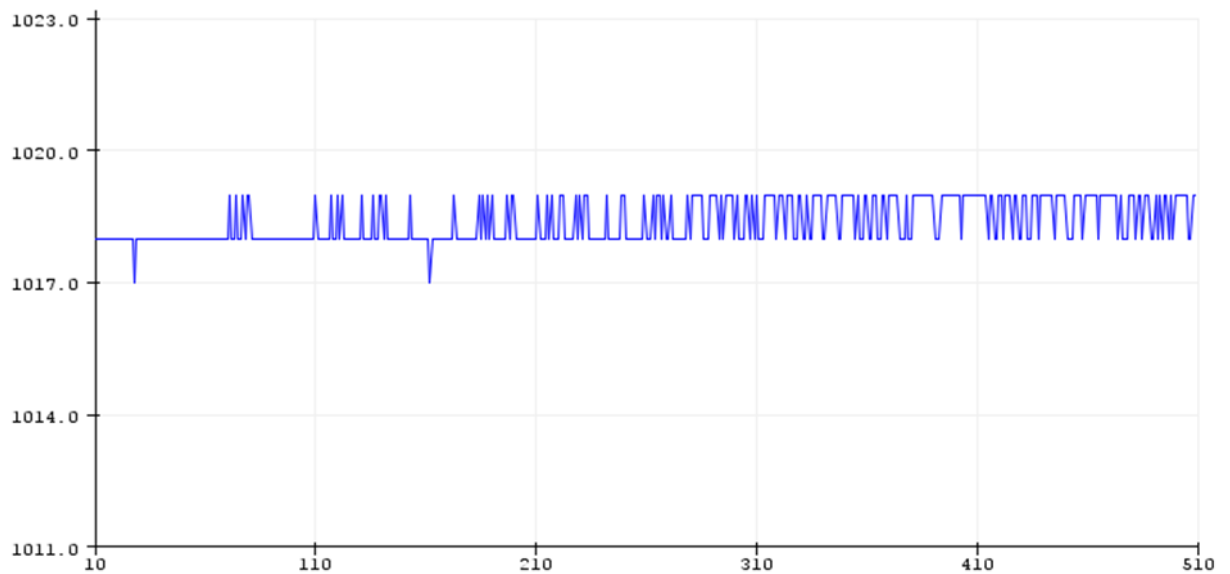
Para verificar a precisão na medição do sensor HL-69 (sensor de umidade do solo), foram realizadas medições da umidade do solo em condição natural nas amostras, conforme mostra a Figura 7. Os resultados obtidos pelo sensor para as Amostras I e II podem ser observados na Figura 8 e na Figura 9, respectivamente.

Figura 7 - Amostra de solo natural I com sensor de umidade do solo HL-69.



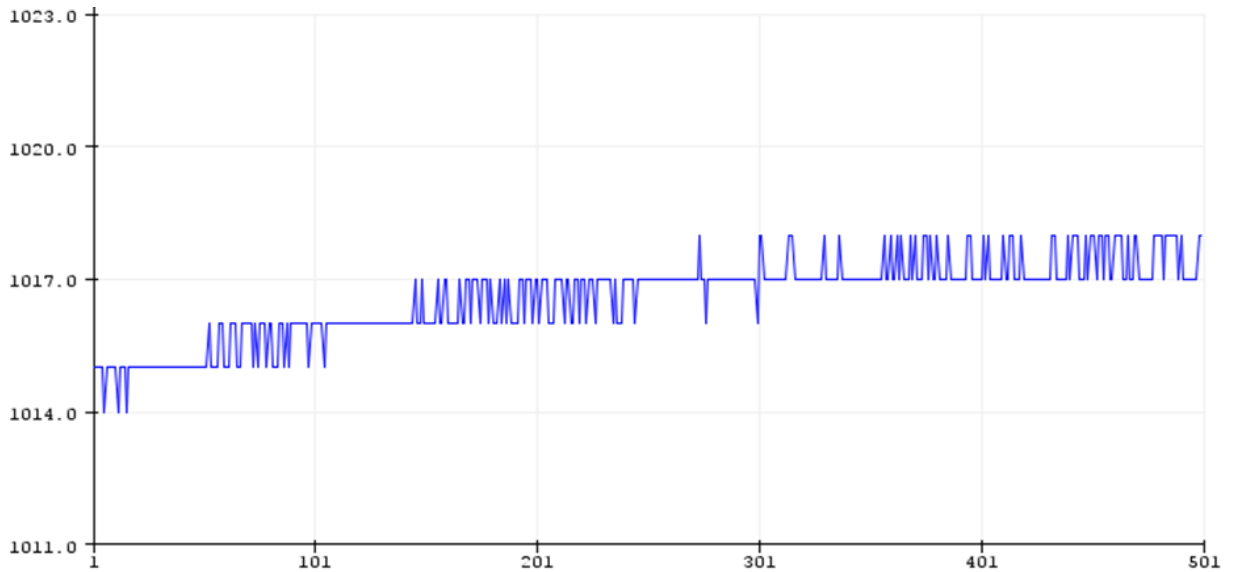
Fonte: Autores (2023).

Figura 8 - Medição do Sensor HL69 para Amostra I natural.



Fonte: Autores (2023).

Figura 9 - Medição do Sensor HL69 para Amostra II natural.



Fonte: Autores (2023).

Posteriormente, as amostras foram submetidas a um processo de secagem em estufa, com duração de 24 horas, a fim de assegurar a completa remoção da umidade presente. Em sequência, as amostras foram transferidas para um dissecador, onde foram submetidas a uma redução de temperatura controlada, minimizando assim a influência da umidade do ar circundante. A fim de determinar o teor de umidade constante presente em cada amostra, ambas foram pesadas novamente. Como é possível observar na Figura 10, foi identificado um índice de umidade de 2,36% para a Amostra I e 9,2% para a Amostra II.

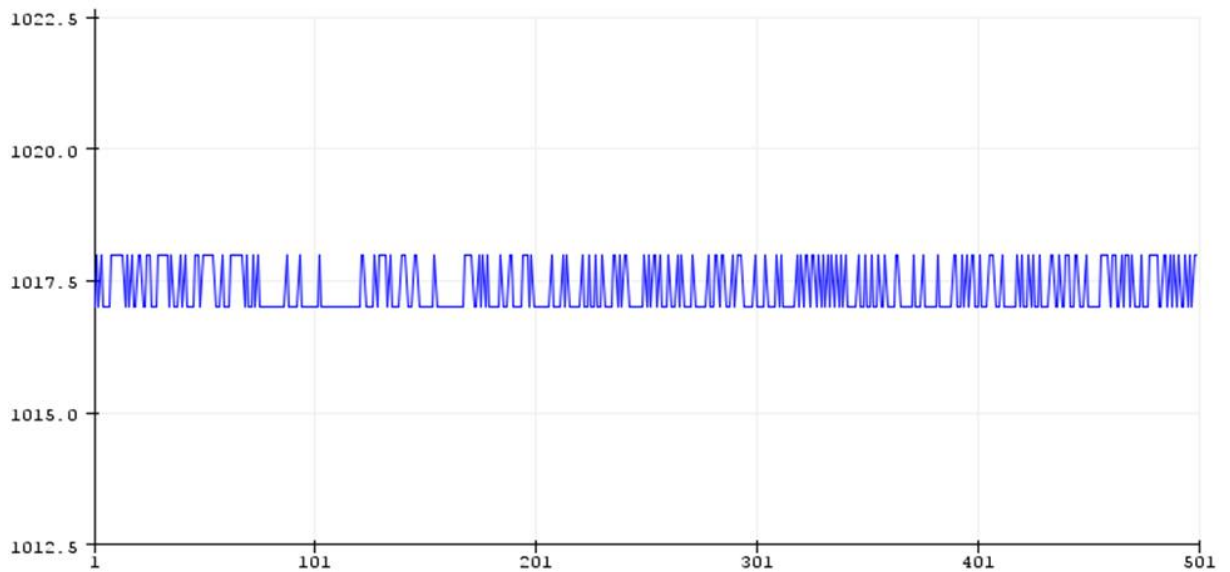
Figura 10 - Amostras I e II após secagem na estufa.



Fonte: Autores (2023).

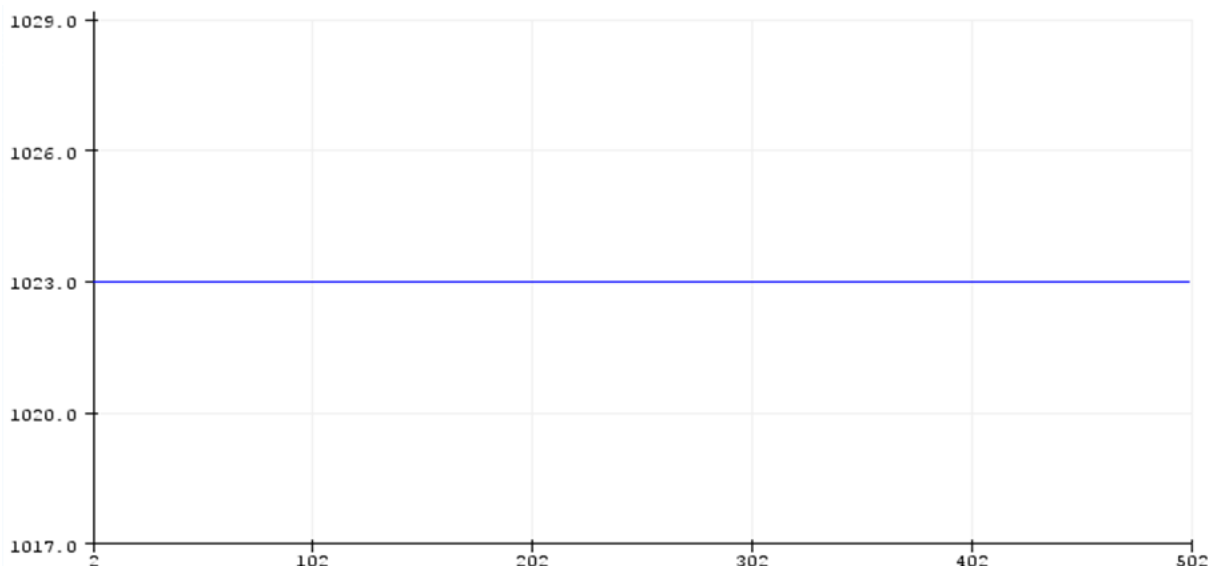
Foram realizadas novas medições da umidade do solo utilizando o sensor HL69 para avaliar como é sua resposta em condições de solo seco. Os resultados dessas medições estão representados na Figura 11 e na Figura 12, correspondendo, respectivamente, às leituras obtidas nas Amostras I e II.

Figura 11 - Medição do Sensor HL69 para Amostra I seca.



Fonte: Autores (2023).

Figura 12 - Medição do Sensor HL69 para Amostra II seca.



Fonte: Autores (2023).

A fim de verificar o retorno dos sensores em situação de saturação, foram adicionados 191,47 g de água na Amostra I e 201,95 g de água na Amostra II, conforme indica a Figura 13.

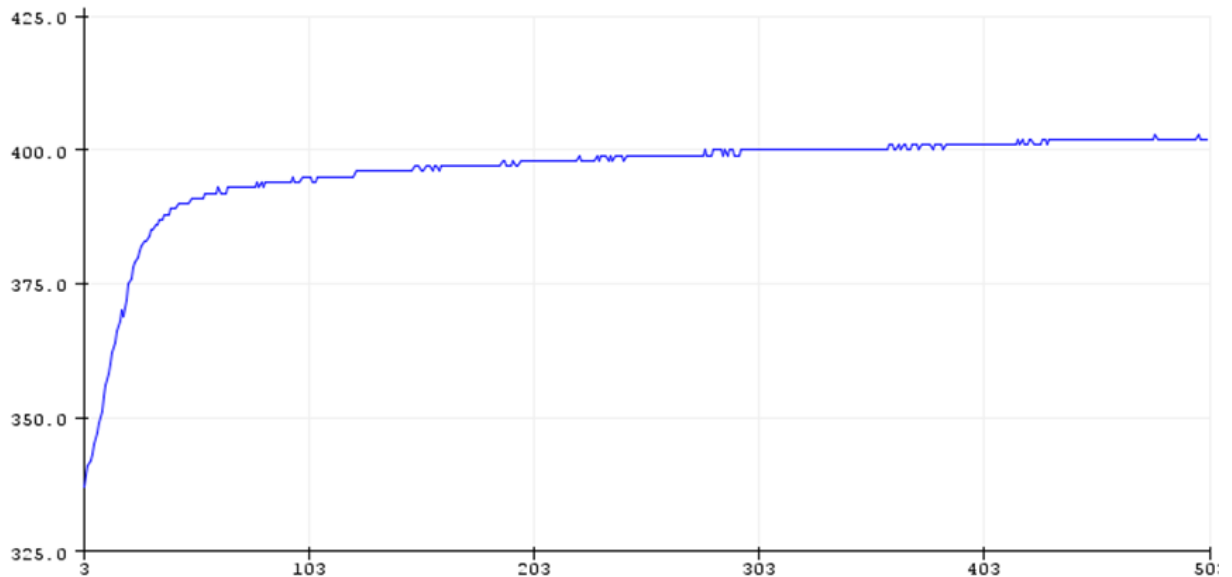
Figura 13 - Medidas da água para Amostra I e II, respectivamente



Fonte: Autores (2023).

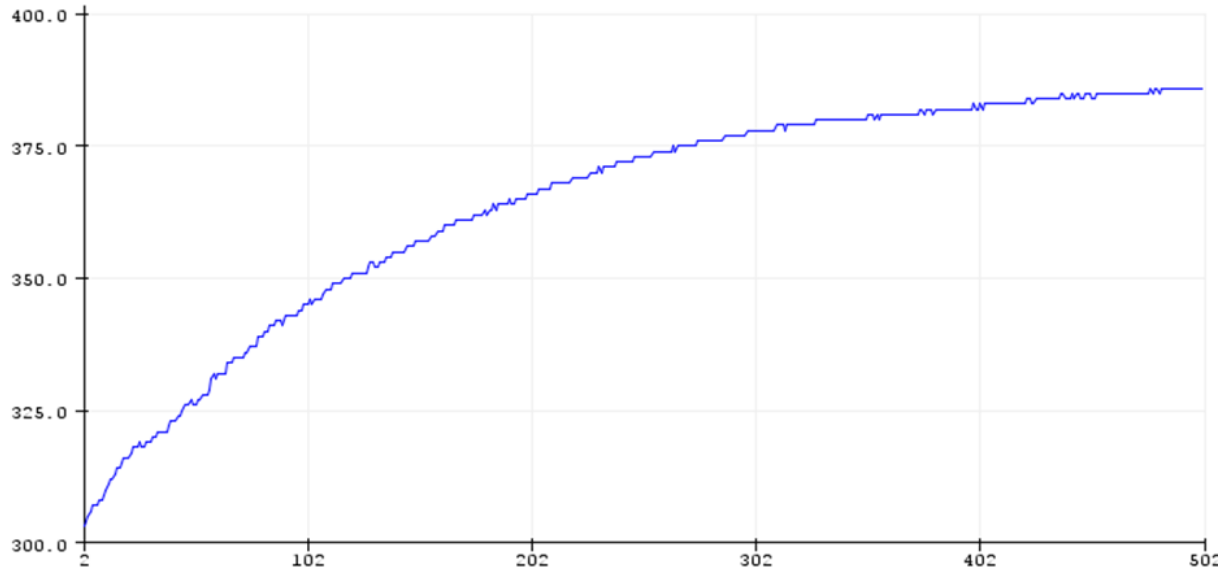
Os resultados referentes ao sensor HL69 para as amostras com umidade máxima podem ser visualizados na Figura 14 (Amostra I) e Figura 15 (Amostra II).

Figura 14 - Medição do Sensor HL69 para Amostra I com 100% de umidade.



Fonte: Autores (2023).

Figura 15 - Medição do Sensor HL69 para Amostra II com 100% de umidade.



Fonte: Autores (2023).

A Figura 16 apresenta a síntese dos resultados obtidos durante o processo de calibração dos sensores, evidenciando a capacidade do sensor HL-69 em realizar leituras dos níveis de umidade do solo. Essa capacidade é de extrema importância para o monitoramento eficiente do sistema de irrigação. Além disso, destaca-se a vantagem deste sensor em termos de acessibilidade, por ser de fácil utilização e de baixo custo. A tabela também reúne os valores identificados pelos sensores para as amostras de solo em diferentes condições de umidade, fornecendo um panorama das medições realizadas.

Figura 16 - Valores identificados pelo sensor para as amostras de solo em diferentes umidades.

AMOSTRA	UMIDADE	SENSOR HL-69
Amostra 01	Natural (2,3%)	1017~1018
	0%	1023
	100%	300~387
Amostra 02	Natural (9,2%)	1016,5~1017,5
	0%	1023
	100%	305~380

Fonte: Autores (2023).

5.3 Montagem do Sistema

Para a montagem do sistema, foram utilizadas três novas amostras de solo, em béqueres de 250 ml cada, como indicado na Figura 17.

Figura 17 - Amostras de solo utilizadas nesse estudo.



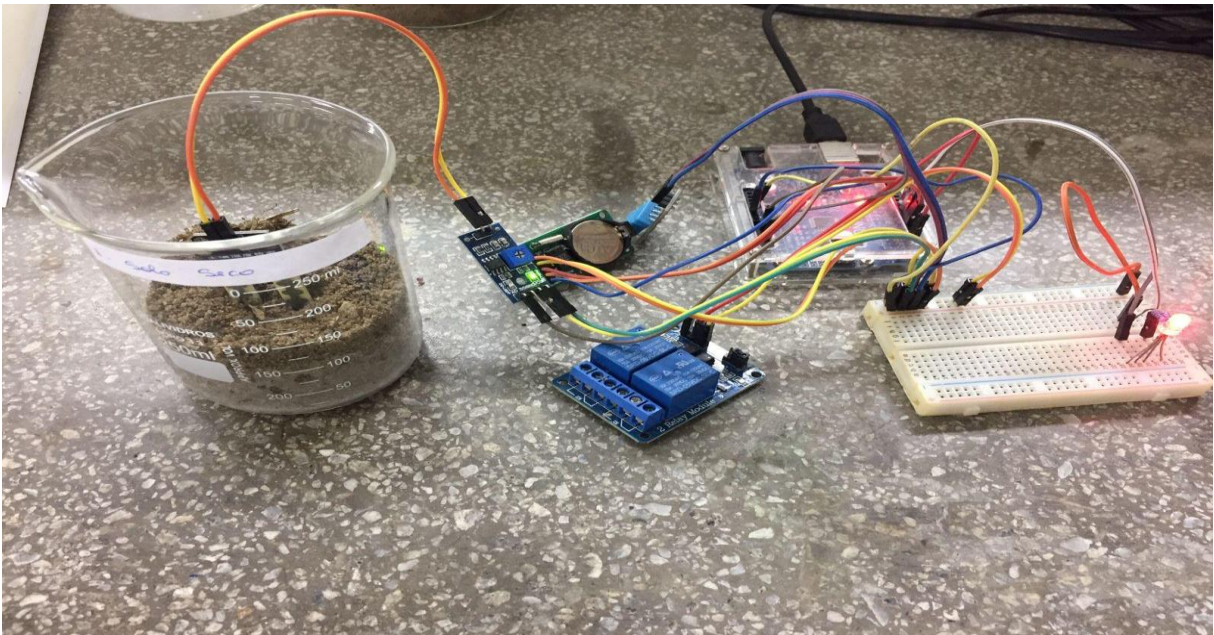
Fonte: Autores (2023).

No experimento conduzido, foram consideradas três diferentes condições empregando recipientes (béqueres) contendo amostras de solo. Um dos recipientes continha solo em estado seco (béquer 1), outro continha solo úmido (béquer 2) e o terceiro continha solo saturado (béquer 3).

No recipiente com solo seco (Amostra 1), a umidade do solo estava dentro do limite estabelecido para ativar o sistema de irrigação. Já no recipiente com solo úmido (Amostra 2), o nível de umidade ultrapassou tal limite, resultando na desativação do sistema de bombeamento para irrigação. No caso do recipiente com solo encharcado (Amostra 3), o nível de umidade excedeu o limite predefinido, o que evidenciou a eficácia do sistema em prevenir o desperdício de água.

No contexto do experimento referente à Amostra 1, um sensor de umidade do solo foi posicionado em uma região onde o solo estava seco. A Figura 18 ilustra que quando o solo está seco, um indicador luminoso (LED) de cor vermelha é acionado para indicar essa condição. Simultaneamente, o relé que controla a operação da bomba permanece desativado, indicando a ausência de bombeamento de água. A Figura 19 ilustra o retorno que o sistema apresenta, informando os dados colhidos pelo sistema e o estado “bomba ligada”.

Figura 18 - Sensores em funcionamento diretamente na amostra de solo 1.



Fonte: Autores (2023).

Figura 19 - Sistema em funcionamento na amostra de solo 1.

```

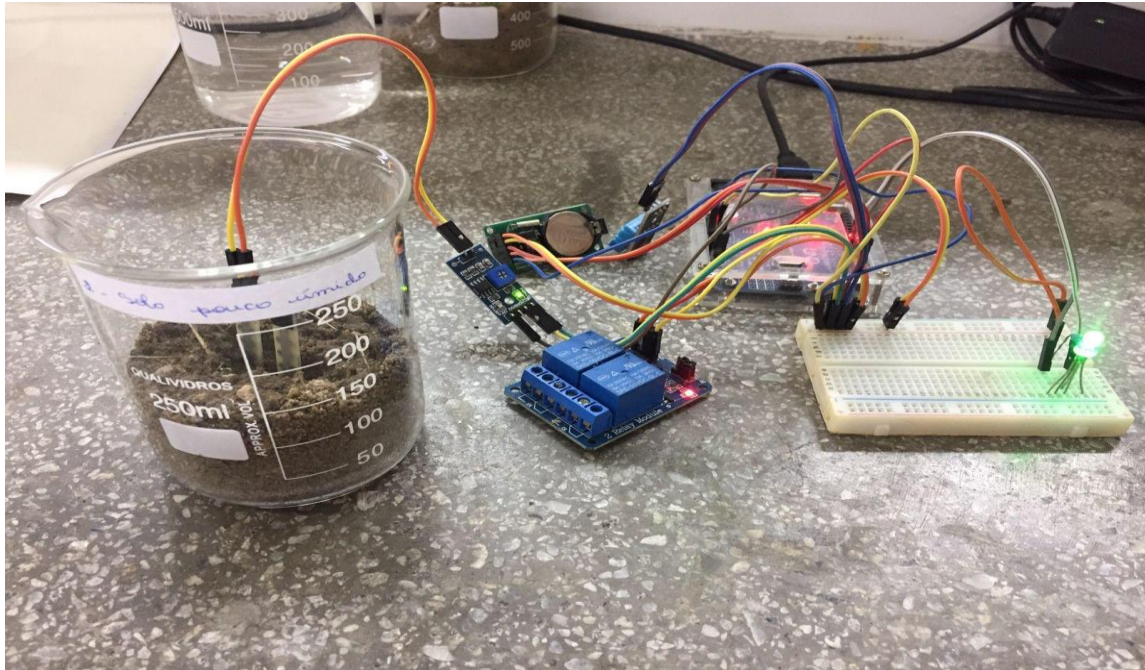
COM3
Inicializando SD card...Data : 28/9/2022 Hora : 15:03:09
Umidade média do solo:874
Temperatura:23°C
Umidade do ar:75%t
***-Bomba Ligada!-***
-----
Data : 28/9/2022 Hora : 15:03:09
Umidade média do solo:873
Temperatura:23°C
Umidade do ar:74%t
***-Bomba Ligada!-***
-----
Data : 28/9/2022 Hora : 15:03:09
Umidade média do solo:875
Temperatura:23°C
Umidade do ar:75%t
  
```

Auto-rolagem Show timestamp
 Nova-linha 9600 velocidade Deleta a saída

Fonte: Autores (2023).

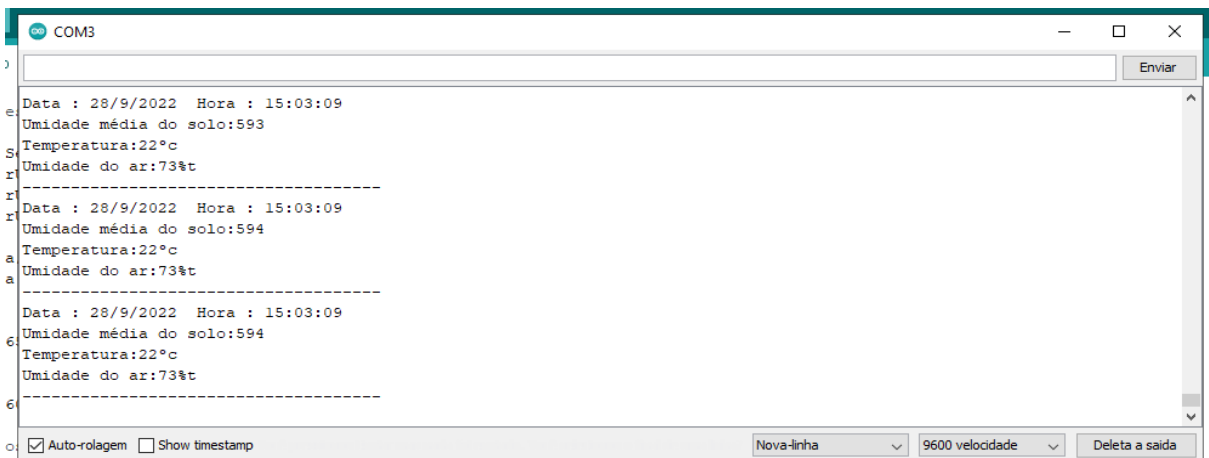
Na Amostra 2, o solo está parcialmente úmido sendo assim os indicadores de led (luz verde) e o relé está aceso, indicando que a Amostra 2 de solo está com um bom percentual de umidade, conforme a Figura 20. Na Figura 21 observa-se que o estado de bomba ligada não está mais sendo exibido, informando que a bomba se encontra desligada.

Figura 20 - Sensores em funcionamento diretamente na amostra de solo 2.



Fonte: Autores (2023).

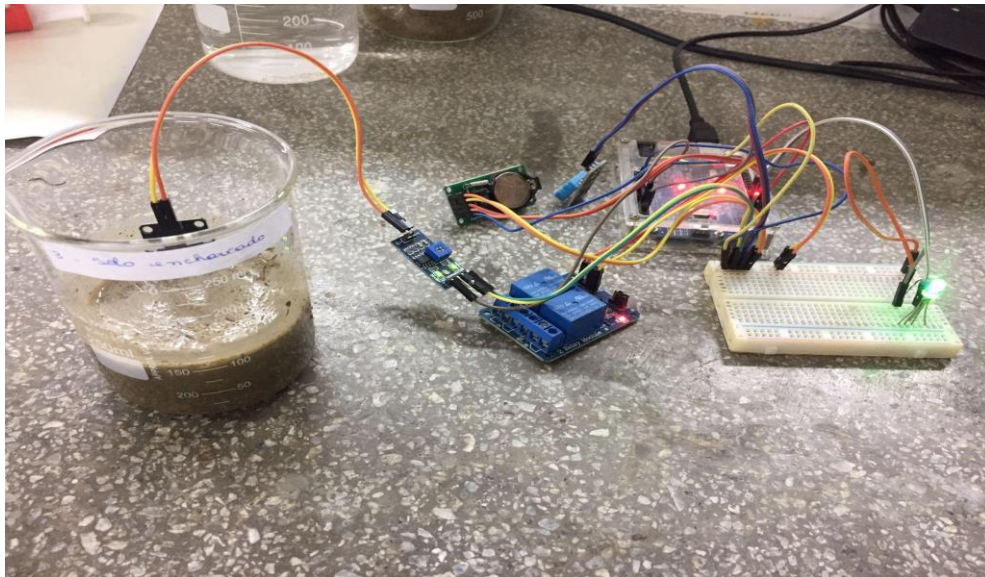
Figura 21 - Sistema em funcionamento na amostra de solo 2.



Fonte: Autores (2023).

Já na Amostra 3, como exibido na Figura 22 o sensor consegue identificar que o solo está saturado e que não há necessidade de acionar a bomba, onde o indicador de led acende e fica verde e o relé liga com led vermelho, mostrando que a bomba está desligada. A Figura 23 representa o valor da umidade média do solo, que está abaixo do especificado, o que confirma a informação de que o solo está saturado.

Figura 22 - Sensores em funcionamento diretamente na amostra de solo 3.



Fonte: Autores (2023).

Figura 23 - Sistema em funcionamento na amostra de solo 3.

```

COM3
-----
Umidade média do solo:330
Temperatura:22°C
Umidade do ar:76%t
***-Bomba Ligada!-***
-----
Data : 28/9/2022 Hora : 15:03:09
Umidade média do solo:337
Temperatura:23°C
Umidade do ar:75%t
-----
Data : 28/9/2022 Hora : 15:03:09
Umidade média do solo:351
Temperatura:22°C
Umidade do ar:75%t
-----
 Auto-rolagem  Show timestamp
Nova-linha 9600 velocidade Deleta a saída
  
```

Fonte: Autores (2023).

Os dados do sensor de umidade do solo são interpretados a partir do valor capturado pelo sensor resistivo, que varia entre 0 e 1023. Esse valor é uma medida da resistência elétrica do solo, que varia de acordo com a quantidade de água presente no solo. Quanto maior a umidade do solo, menor é a resistência elétrica e, conseqüentemente, maior é o valor capturado pelo sensor resistivo. O valor 1023

representa um solo completamente seco, enquanto o valor 0 representa um solo completamente úmido.

Para interpretar esses valores de maneira mais precisa, é necessário utilizar equações que relacionem a resistência elétrica do solo com a umidade do solo. Diversos estudos utilizam a equação de calibração de um sensor específico para converter o valor capturado pelo sensor resistivo em umidade volumétrica do solo (SILVA et al., 2020; CARVALHO et al., 2018).

A unidade utilizada para expressar a umidade do solo é a porcentagem de volume de água em relação ao volume total do solo, também conhecida como umidade volumétrica (CARMELLO et al., 2016). Essa variável é fundamental para determinar quando é necessário acionar a bomba de irrigação, de acordo com as necessidades da cultura e das condições climáticas locais.

Os valores que indicam que a bomba precisa ser ligada podem ser configurados de acordo com a plantação, estação do ano, tipos de solos, entre outros aspectos que podem interferir na umidade do solo. Considerando os testes acima descritos, o valor limite considerado para o acionamento da bomba no presente estudo foi de 420. Este valor foi determinado através da avaliação das respostas do sistema às diferentes condições de umidade das amostras de solo, visando garantir uma irrigação eficiente e adequada para as necessidades do experimento.

Considerando a importância do monitoramento da umidade do solo para a irrigação eficiente, é necessário utilizar sensores confiáveis e calibrados adequadamente, a fim de garantir a precisão das medições (SILVA et al., 2020). Dessa forma, é possível concluir que a interpretação adequada dos dados do sensor de umidade do solo é essencial para o manejo eficiente da irrigação, permitindo o uso racional da água e a maximização dos rendimentos das culturas.

5.4 Elaboração do algoritmo

Para o desenvolvimento do algoritmo de controle do sistema de irrigação, foi utilizada a linguagem de programação específica para Arduino, que consiste em uma variação do C++. Para realizar a integração do Arduino com os diversos módulos que compõem o sistema, foram utilizadas algumas bibliotecas existentes. As bibliotecas são conjuntos de códigos disponibilizados, que simplificam o desenvolvimento de um projeto, permitindo ao desenvolvedor utilizar funções pré-definidas. No caso deste projeto, as bibliotecas utilizadas foram:

- SPI.h e SD.h: responsáveis pela comunicação com o módulo de cartão SD.
- DHT.h e DMT_U.h: responsáveis pelo sensor DHT (temperatura e umidade do ar).
- virtuabotixRTC.h: utilizada para interação com o sensor DHT, responsável pela interação com o módulo RTC (Real Time Clock).

Os detalhes de implementação das bibliotecas e sua integração no código podem ser visualizados na Figura 24.

Figura 24 - Demonstração das bibliotecas utilizadas

```
IrigadorAutomatizado $
#include <SPI.h> //Carrega biblioteca que faz a integração com o módulo de cartão SD
#include <SD.h>

#include <DHT.h> //Carrega a biblioteca que permite a interação com o sensor de temperatura e umidade do ar
#include <DHT_U.h>

#include <virtuabotixRTC.h> //Carrega a biblioteca virtuabotixRTC, responsável pela interação com o módulo RTC (Real Time Clock)
```

Fonte: Autores (2023)

O código desenvolvido faz uma leitura dos valores recebidos por todos os sensores e compara com os valores que são definidos de acordo com o tipo de cultura. Um exemplo, é o valor da variável "int limiteUmd" que está com o valor definido de 420 que foi o valor utilizado nos testes em laboratório. Para cultivos diferente, esse valor pode ser alterado de acordo com o nível de umidade do solo desejado, assim como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Demonstração da variável "int limiteUmd" que deve ter seu valor alterado de acordo com o nível de umidade do solo desejado.

```
IrigadorAutomatizado $

int limiteUmd = 650; // **VARIABLE RESPONSABLE FOR THE MINIMUM OF HUMIDITY, CHANGE TO CALIBRATE SENSORS!**

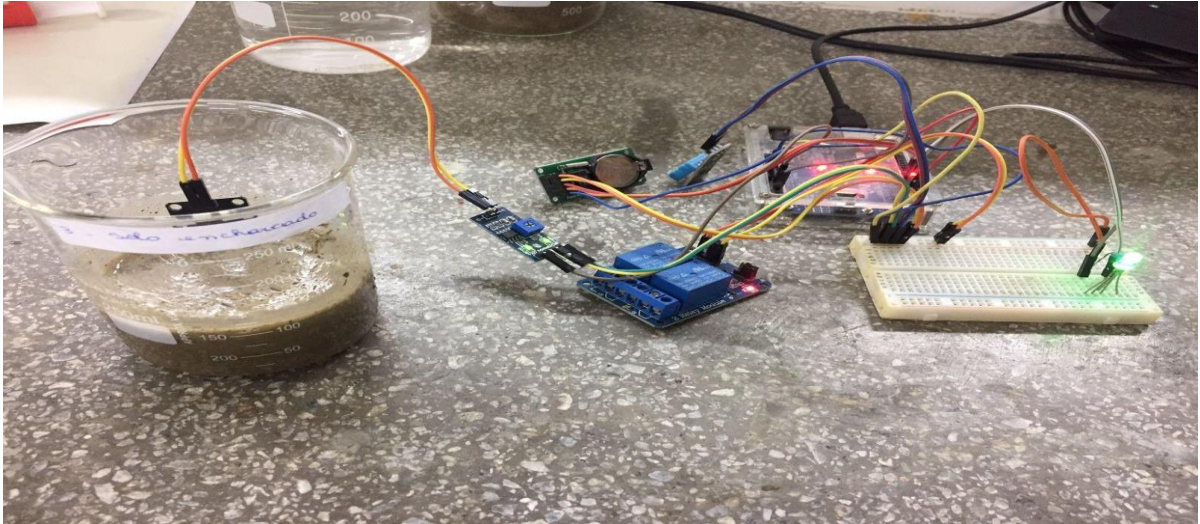
void setup() {
```

Fonte: Autores (2023).

A comunicação do Arduino com o usuário pode ser feita tanto através dos leds que demonstram o nível de umidade do solo, indicando se o valor lido está abaixo ou acima do limite configurado, e outro led responsável por informar se o relé que ativa a

bomba d'água está ou não em funcionamento, conforme ilustrado abaixo, na Figura 26.

Figura 26 - Sensor em funcionamento diretamente na amostra de solo 3.



Fonte: Autores (2023).

Além dos leds, o sistema de irrigação envia logs de dados ao computador conectado através de comunicação serial, demonstrando diversos dados como: informação de inicialização do cartão SD; a data e hora o valor indicativo da umidade do solo a temperatura em graus celsius; a umidade do ar; e a informação sobre o acionamento da bomba d'água. Além disso, também é possível identificar erros em sensores através do monitor serial. Os dados apresentados na tela são atualizados de acordo com o tempo determinado pelo administrador do sistema, assim como ilustrado na

Figura 27.

Figura 27 - Exemplo da comunicação através do monitor serial.



Fonte: Autores (2023).

Todos os dados coletados pelos sensores são armazenados em um cartão SD, em um arquivo do tipo csv, onde é possível através do tratamento de dados analisar e criar gráficos e apresentações baseados nos dados armazenados. O registro dos dados coletados pelos sensores no cartão SD e a sua análise posterior permitem um melhor entendimento sobre o funcionamento do sistema de irrigação automatizada, possibilitando que sejam realizadas melhorias e ajustes necessários para otimizar o desempenho do sistema.

6 CONCLUSÃO

Com resultados, pode-se concluir que o sistema de irrigador automatizado utilizando Arduino pode apresentar um bom funcionamento, trazendo resultados positivos para pequenos canteiros de plantações. Além disso, é importante ressaltar que a utilização do pequeno sistema de irrigador automatizado mostrado no presente trabalho alcançou o objetivo esperado nos solos testados, com o irrigador sendo acionado adequadamente e reconhecendo os solos que necessitam diferentes níveis de água, sendo possível ajustar o limite de umidade necessário de acordo com a demanda da região de atuação do sistema.

Entende-se que o sistema de irrigação automatizado apresenta um amplo espectro de potencialidades de aplicação. A horta orgânica do IFAL, por exemplo, utiliza práticas sustentáveis, mas ainda carece de um sistema automatizado de irrigação, o qual poderia otimizar o uso da água, reduzir a dependência de irrigação manual e contribuir para a produção de culturas orgânicas de forma mais eficiente.

Portanto, o sistema de irrigação automatizado desenvolvido neste trabalho não apenas demonstrou ser eficaz em pequenos canteiros de plantação, mas também oferece uma solução promissora para aprimorar a gestão da irrigação em hortas orgânicas, como a do IFAL Campus Penedo, assim como em outros contextos agrícolas, incluindo agricultura familiar, escolar, urbana e orgânica. Os estudos de caso relatados na literatura corroboram os benefícios alcançados com a implementação de sistemas semelhantes.

É importante considerar que, mesmo com as potencialidades do sistema de irrigação automatizado, existem algumas limitações e considerações a serem levadas em conta. A calibração adequada dos sensores de umidade do solo, temperatura e umidade do ar, bem como a escolha correta dos componentes e o ajuste às

características específicas de cada cultura e solo, são aspectos cruciais para o bom funcionamento do sistema (SILVA et al., 2021).

Perspectivas futuras de desenvolvimento e aprimoramento do sistema envolvem a implementação de técnicas avançadas de sensoriamento, como a utilização de sensores de condutividade elétrica do solo e a integração com sistemas de controle por meio de algoritmos mais sofisticados. Essas melhorias podem aprimorar ainda mais o desempenho do sistema e sua capacidade de monitoramento e controle precisos.

Embora consideradas as limitações e possíveis melhorias a serem realizadas, o sistema apresenta um caminho promissor para a otimização do uso da água, a eficiência do cultivo e a sustentabilidade agrícola.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, R. M., et al. Sistema de irrigação automatizado em estufas: avaliação do desempenho e impactos na produção de hortaliças. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 24(8), 561-566, 2020.

CARMELLO, E. F.; SILVA, F. J.; AZEVEDO, C. A. V. **Manual de irrigação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.

CARVALHO, D. F. et al. Caracterização de sensores capacitivos de umidade do solo utilizados em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 234–240, 2018.

COELHO, R. M. et al. Desenvolvimento e Análise do Desempenho de um Sistema Automatizado Baseado na Plataforma Arduino para Manejo da Irrigação. **Caderno de Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 05-13, 2020.

SILVA FERREIRA, J. C. et al. Protótipo de Irrigação automatizada enquanto ferramenta para o ensino de computação: A Teoria na Prática. In: **Anais do XVII Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas**. SBC, 2020. p. 185-188.

CRUZ, B. L. B. et al. Horta automatizada utilizando Arduino Uno. In: **MOSTRA NACIONAL DE ROBÓTICA - MNR 2018**, 16., 2018, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: Editora da UFPR, 2018. p. 1-5.

OLIVEIRA, F. A. A. et al. Estudo da Tecnologia de Irrigação Automatizada pela Revisão de Patentes. **Cadernos de Prospecção**, v. 15, n. 2, p. 494-506, 2022.

SOUSA, C. R. et al. Experiência na Construção de um Sistema de Irrigação Automatizado de uma Horta no Ensino Médio Técnico. **Scientia: Revista Científica Multidisciplinar**, v. 7, n. 2, p. 77-95, 2022.

LIMA, F. B., et al. Desenvolvimento de sistema de irrigação automatizado para hortas urbanas e verticais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 23(3), 1-6,2019.

SELBORNE, Lord. **A Ética do Uso da Água Doce: um levantamento**. Brasília: UNESCO, 2001. 80p. ISBN: 85-87853-36-8.

MOURA, L. et al. Sistema de irrigação automatizado com plataforma Arduino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 8, p. 541-547, 2018.

PALHARES, J. C. P. et al. **Produção animal e recursos hídricos: uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo**. 2021.

QUITAISKI, P. P. et al. Sistema de reaproveitamento de águas pluviais para irrigação automatizada de hortaliças. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 7, p. 4259-4276, 2018.

SANTOS, L. P. dos et al. Automação de um sistema de irrigação por gotejamento com uso de arduino. In: **SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 22., 2017, Recife. Anais... Recife: UFPE, 2017. p. 43-49.

SILVA, A. P., et al. Sistema de irrigação automatizado para agricultura familiar: estudo de caso em uma horta agroecológica. **Revista Agrogeoambiental**, 13(1), 457-468, 2021.

SILVA, F. G. da. Et al. Desenvolvimento e calibração de sensor capacitivo de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 7, p. 501–506, 2020.

SILVA, J.; ARAÚJO, G. A. **Sistema de irrigação automatizado para uma horta residencial usando a plataforma Arduino**. 2022.

SILVA, M. H. T. et al. IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA E ECONÔMICA EM UMA HORTA ESCOLAR NO MUNICÍPIO DE URUTAÍ–GOIÁS: ESTUDO DE CASO. 2022.

TAVARES, G. F.; FERREIRA, F. R. Laboratórios de engenharia: uma proposta de ensino. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 36., 2016, João Pessoa. Anais [...]. João Pessoa: ABEPRO, p. 91-95, 2016.

TELLES, D. A. Água na Agricultura e Pecuária, 2ª Edição, org. coura. **Científica, São Paulo**, 2002.

VEIGA, A. J.; MONTANHA, G. K. Horta Vertical Com Irrigação Automatizada. **Tekhne e Logos**, v. 12, n. 1, p. 49-59, 2021.

VON SPERLING, E. Afinal, quanta água temos no planeta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, p. 189-199, 2006.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

Tabela 1 - Informações sobre o código-fonte

Autor:	Waldsson Sacramento dos Santos e Brenda Paulino Costa
Título:	Sistema de Irrigação Automatizado
Versão:	1.0
Linguagem:	Arduino (.ino)
Data de criação:	24/05/2022

Código-fonte

```

#include <SPI.h> //Carrega biblioteca SD para o módulo
de cartão SD
#include <SD.h>

#include <DHT.h> //Carrega a biblioteca DHT para o
sensor de temperatura e umidade do ar
#include <DHT_U.h>

#include <virtuabotixRTC.h> //Carrega a biblioteca
virtuabotixRTC
virtuabotixRTC myRTC(5, 6, 7); //Determina os pinos
ligados ao modulo: (myRTC(clock, data, rst))

// definição de pinos para os sensores
#define sensorU1 A0 //Sensor de umidade do solo 1
#define sensorU2 A1 //Sensor de umidade do solo 2
#define sensorU3 A2 //Sensor de umidade do solo 3
#define sensorDHT A3 //Sensor DHT
#define tipoDHT DHT11 // Informa o tipo de DHT que
estamos utilizando

#define bombaAgua 2 // Bomba d'água ná porta D2
#define ledVerde 9
#define ledVermelho 8
//#define ledAzul 1;

```

```

    DHT  dht(sensorDHT,  tipoDHT);  //  Parametros  da
biblioteca DHT

    File myFile;// Parametro para a biblioteca SD

    // definição do escopo de variáveis globais

    int leituraMediaSensorU;
    int leituraSensorU1;
    int leituraSensorU2;
    int leituraSensorU3;
    float umidade;
    float temperatura;
    int situacaoBomba = 0;

    int limiteUmd = 420; // **VARIABLE RESPONSABLE FOR THE
MINIMUM HUMIDITY, CHANGE TO CALIBRATE SENSORS!**

    void setup() {
        Serial.begin(9600);

        // definição dos pinos como INPUT ou OUTPUT de dados

        pinMode(sensorU1, INPUT);
        pinMode(sensorU2, INPUT);
        pinMode(sensorU3, INPUT);
        pinMode(bombaAgua, OUTPUT);
        pinMode(ledVerde, OUTPUT);
        pinMode(ledVermelho, OUTPUT);

        dht.begin(); // Inicia o sensor DHT

        //myRTC.setDS1302Time(00, 26, 22, 5, 19, 5, 2022);//
APENAS PARA CONFIGURAÇÃO DO RTC, COMENTAR ESSA LINHA APÓS
A CONFIGURAÇÃO!!

        Serial.print("Inicializando SD card...");

        if (!SD.begin(4)) { // Checagem sobre a inicialização
do SD Card!
            Serial.println("Inicialização do SD falhou!");
            while (1);
        }
    }

```

```
Serial.println("Inicialização do SD completa.");

apagaLeds();

}

void exibirNoMonitorSerial(){
    //Exibir no monitor serial as informações de data e
hora.

    //Le as informacoes do CI
    myRTC.updateTime();

    //Imprime as informacoes no serial monitor
    Serial.print("Data : ");
    Serial.print(myRTC.dayofmonth);
    Serial.print("/");
    Serial.print(myRTC.month);
    Serial.print("/");
    Serial.print(myRTC.year);
    Serial.print(" ");
    Serial.print("Hora : ");
    //Adiciona um 0 caso o valor da hora seja <10
    if (myRTC.hours < 10){
        Serial.print("0");
    }
    Serial.print(myRTC.hours);
    Serial.print(":");
    //Adiciona um 0 caso o valor dos minutos seja <10
    if (myRTC.minutes < 10){
        Serial.print("0");
    }
    Serial.print(myRTC.minutes);
    Serial.print(":");
    //Adiciona um 0 caso o valor dos segundos seja <10
    if (myRTC.seconds < 10){
        Serial.print("0");
    }
    Serial.println(myRTC.seconds);
}
```

```
        // Exibir o valor da média dos sensores no monitor
serial
        Serial.print("Umidade média do solo:");
        Serial.println(sensorUmidadeSolo());

        // Exibir as informações de temperatura e umidade no
monitor serial
        Serial.print("Temperatura:");
        Serial.print(sensorTemperatura());
        Serial.println("°c");

        Serial.print("Umidade do ar:");
        Serial.print(sensorUmidade());
        Serial.println("%t");

        if (situacaoBomba == 1){
            Serial.println("***-Bomba Ligada!-***");
        }
    }

    int sensorUmidadeSolo(){
        //Função responsável por calcular e retornar o valor
médio da umidade do solo
        leituraSensorU1 = analogRead(sensorU1);
        leituraSensorU2 = analogRead(sensorU2);
        leituraSensorU3 = analogRead(sensorU3);
        leituraMediaSensorU    =    ((leituraSensorU1    +
leituraSensorU2 + leituraSensorU3) / 3);

        return leituraMediaSensorU;
    }

    int sensorTemperatura(){
        // Função que checa o funcionamento do sensor DHT e
retorna os valores de temperatura
        temperatura = dht.readTemperature();
        // testa se retorno é valido, caso contrário algo
está errado.
        if (isnan(temperatura)){
            Serial.println("ERRO NA LEITURA DO SENSOR DHT");
        }
    }
}
```

```
        return temperatura;
    }

    int sensorUmidade(){
        // Função que checa o funcionamento do sensor DHT e
        // retorna os valores de umidade
        umidade = dht.readHumidity();
        // testa se retorno é valido, caso contrário algo
        // está errado.
        if (isnan(umidade)){
            Serial.println("ERRO NA LEITURA DO SENSOR DHT");
        }

        return umidade;
    }

    void salvarDados(){

        myFile = SD.open("dados.csv", FILE_WRITE); //Abre o
        //arquivo dados_irrigador.csv para guardar os dados

        if (myFile) { //Escrita no arquivo
            Serial.println("Salvando dados em **DADOS.csv**");
            //Escreve informações de data e hora no arquivo
            myFile.print(myRTC.dayofmonth);
            myFile.print("/");
            myFile.print(myRTC.month);
            myFile.print("/");
            myFile.print(myRTC.year);
            myFile.print(",");

            if (myRTC.hours < 10){
                myFile.print("0");
            }
            myFile.print(myRTC.hours);
            myFile.print(":");
            //Adiciona um 0 caso o valor dos minutos seja <10
            if (myRTC.minutes < 10){
                myFile.print("0");
            }
            myFile.print(myRTC.minutes);
            myFile.print(":");
            //Adiciona um 0 caso o valor dos segundos seja <10
```

```

    if (myRTC.seconds < 10){
        myFile.print("0");
    }
    myFile.print(myRTC.seconds);
    myFile.print(",");

    //Escreve informações dos sensores no arquivo
    myFile.print(sensorUmidadeSolo());
    myFile.print(",");

    myFile.print(sensorTemperatura());
    myFile.print(",");

    myFile.print(sensorUmidade());
    myFile.print(",");

    myFile.print(situacaoBomba);
    myFile.println();

    // Terminou de escrever, fecha-se o arquivo
    myFile.close();

    Serial.println("Dados escritos com sucesso!.");

}
else {
    // Se nao deu certo exibir mensagem de erro no
monitor serial
    Serial.println("Nao foi possivel abrir o
arquivo");
}

}

int ligarBomba() {

    if(sensorUmidadeSolo() <= limiteUmd){
        while (sensorUmidadeSolo() <= limiteUmd){
            apagaLeds();
            digitalWrite(ledVermelho, LOW);
        }
    }
}

```

```

        digitalWrite(bombaAgua, LOW);
        situacaoBomba = 1;
        return 0;
    }
}else {
    apagaLeds();
    digitalWrite(ledVerde, LOW);
    digitalWrite(bombaAgua, HIGH);
    situacaoBomba = 0;
}

}

void apagaLeds()
{
    digitalWrite(ledVermelho, HIGH);
    digitalWrite(ledVerde, HIGH);
    digitalWrite(bombaAgua, HIGH);
}

void loop() {
    apagaLeds();
    myRTC.updateTime();
    exibirNoMonitorSerial();
    salvarDados();
    ligarBomba();

    Serial.println("-----
--");

    delay(10000); //delay de 10s para todo o
funcionamento do código
}

```