



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

**JOÃO FLÁVIO CARDOSO PINHEIRO**

**Sistema de automação para irrigação de plantas em ambientes residenciais**

BELÉM

2022

**JOÃO FLÁVIO CARDOSO PINHEIRO**

**Sistema de automação para irrigação de plantas em ambientes residenciais**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia da Computação, do Instituto de Tecnologia e Faculdade de Computação e Telecomunicações.

**BELÉM  
2022**

## **JOÃO FLÁVIO CARDOSO PINHEIRO**

### **Sistema de automação para irrigação de plantas em ambientes residenciais**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação, aprovado pelos membros da banca examinadora com conceito:\_\_\_\_\_.

Belém, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Agostinho Luiz da Silva Castro**  
**ORIENTADOR**

---

**Prof. Dr. Ronaldo de Freitas Zampolo**  
**MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA**

---

**Profa. Dra. Adriana Rosa Garcez Castro**  
**MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA**

Dedico a Deus por sempre estar ao meu lado nos momentos mais difíceis deste trabalho. À minha família e amigos que sempre estiveram presentes direta ou indiretamente em todos os momentos de minha formação.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente aos meus pais, em especial a minha mãe por me proporcionarem todas as condições possíveis para que eu chegasse até aqui, nunca me deixando negligenciar os estudos nem desistir quando estava passando por dificuldades, sempre cuidando de mim com amor, carinho e ciúmes. Serei eternamente grato a vocês mamãe e papai.

Agradecer também a mais nova pessoa que apareceu na minha vida, minha companheira Luana Barros, que me ajudou a manter o foco no projeto mesmo eu não tendo vontade. “Te amo Doxinho”.

Não podendo jamais esquecer dos incríveis amigos que encontrei aqui: Andrey, Arthur, Eduardo Fernandes, Lucas Lima, Paulo, Paulinho sempre ajudando uns aos outros, nunca esquecerei do mitológico “Advogado”.

Agradecer aos excelentes professores que ajudaram na minha formação acadêmica, em especial ao meu orientador Agostinho Castro, por ter acreditado no potencial do projeto, por sua excelente tutoria, atenção e paciência.

“Se errei foi tentando acertar”

## RESUMO

O avanço da automação residencial é visivelmente perceptível nas indústrias. Porém, com o avanço e barateamento da tecnologia foi possível implementar esse conceito no ambiente residencial chamado de “Domótica”. Vários são as implementações possíveis tais como: controle da luminosidade; controle da temperatura do ambiente; ajuste do consumo de energia.

Todas essas aplicações estão voltadas para um único objetivo: Melhorar a qualidade de vida das pessoas auxiliando-as na realização de tarefas do cotidiano, aumentando a praticidade, o conforto, a segurança, entre outros valores importantes para a qualidade de vida.

Por isso, nesse trabalho é proposto um sistema que automatize a irrigação de uma planta de forma que o usuário tenha menos uma preocupação na sua rotina. Utilizando o hardware Arduino Duemilanove, o conceito de casas inteligentes, automação residencial, processamento de dados, circuitos elétricos e programação, foi possível criar um sistema que monitore, controle e realize a irrigação do solo de forma autônoma, não havendo a necessidade de intervenção humana de forma significativa.

Palavras-chaves: Automação Residencial, Domótica, Arduino, Casas Inteligentes, Irrigação, Eletrônica.

## **ABSTRACT**

The advancement of home automation is visibly noticeable in industries. However, with the advancement and cheaper technology it was possible to implement this concept in the residential environment called "Domotic". There are several possible implementations such as: brightness control; room temperature control; power consumption adjustment.

All these applications are geared towards a single goal: improve people's quality of life by helping them carry out everyday tasks, increasing practicality, comfort, safety, among other important values for quality of life.

Therefore, this work proposes a system that automates the irrigation of a plant so that the user has one less concern in his routine. Using Arduino Duemilanove hardware, the concept of smart homes, home automation, data processing, electrical circuits and programming. It was possible to create a system that monitors, controls and performs soil irrigation autonomously, with no need for significant human intervention.

Keywords: Home Automation, Domotics, Arduino, Smart Houses, Irrigation, Electronics.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1 MOTIVAÇÃO.....	11
1.2 OBJETIVO .....	12
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	12
2. TRABALHOS CORRELATOS.....	13
3. DESENVOLVIMENTO .....	16
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
3.1.1 PLATAFORMA DE PROTOTIPAÇÃO.....	18
3.1.2 SENSOR DE UMIDADE DO SOLO .....	19
3.1.3 MÓDULO RELÉ (SISTEMA DE ATIVAÇÃO).....	20
3.1.4 SENSOR DHT11 .....	21
3.1.5 MÓDULO I2C.....	22
3.1.6 DISPLAY DE LCD.....	23
3.1.7 PROCESSAMENTO DOS DADOS E CALIBRAÇÃO DO SENSOR .....	24
3.1.8 CUSTO DE PRODUÇÃO.....	27
3.1.9 MÉTODOS SIMULAÇÃO.....	27
4. CIRCUITO TESTE .....	29
5. CONCLUSÃO .....	31
5.1. APRIMORAMENTOS FUTUROS .....	31
6. REFERÊNCIAS.....	32

## 1. INTRODUÇÃO

Desde seu surgimento, a tecnologia veio com o propósito de facilitar a realização de uma tarefa que o ser humano poderia fazer. Porém, no início de seu desenvolvimento, era muito caro e pouco viável para os civis a utilizarem. Com a evolução das tecnologias e seu barateamento, se fez possível a sua utilização em larga escala, começando a facilitar a vida de milhões de pessoas. Assim, desde os primeiros automóveis que auxiliavam no deslocamento de um ponto para o outro, a tecnologia vem facilitando as tarefas do ser humano.

Neste contexto, podemos encontrar o surgimento dos processos de automação, o qual se refere a um sistema que realiza funções automáticas, tais como medições com a intenção de se realizar correções sem a necessidade de interferência do homem. Esta aplicação é comumente relacionada às grandes fábricas que as utilizam para otimizar o processo de produção.

Abrangendo várias esferas, iniciou-se o processo de mudança e quebra de paradigma da automação, direcionando-a para ambientes domésticos. Acompanhando essas mudanças, a automação residencial permite modificar nosso ambiente doméstico em um ambiente inteligente.

Nesse cenário, a automação residencial traz vários benefícios para o usuário que dela desfruta como: entretenimento, segurança e conforto. Como a tecnologia está cada vez mais presente na vida das pessoas, os benefícios citados têm estimulado a procura de casas e apartamentos aptos a receberem essas tecnologias.

Segundo Barros (2010) podemos definir a domótica como uma fusão de tecnologias que permitem ao administrador, gerenciar e controlar os recursos em seu ambiente residencial, tornando este ambiente inteligente. Originária do francês, a palavra domótica vem de *domus* que significa casa e *robotica* que vem do checo que significa robótica, essa que significa automatização controlada de algo.

Segundo Stevan (STEVAN, FARINELLI, 2019) os sistemas domóticos podem incluir, mas sem se restringir, o controle centralizado ou não de segurança, iluminação, climatização, audiovisuais, comunicação de voz, e mesmo de telefonia, além de outros sistemas que possam proporcionar a melhoria de fatores cotidianos como comodidade, conforto, eficiência energética e segurança, sendo que nos sistemas avançados, todos podem ser interligados. Para isso, é utilizado para esta finalidade os seguintes dispositivos: sensores, atuadores e controladores.

Como um exemplo de aplicação da domótica, podemos citar a automatização que, segundo Stevan (STEVAN, FARINELLI, 2019) refere-se à inserção de motores elétricos e controladores a tudo que puder ser móvel, como: portões, porta de garagem, venezianas e toldos que podem ser controlados preferencialmente por controle remoto. Sobre a domótica temos também sua aplicação na segurança. Em seu exemplo mais clássico temos, como exemplo, sua aplicabilidade no controle de acesso a ambientes fechados através da validação por meio de circuitos eletrônicos de radiofrequência (tags de RFID) ou mesmo biometria. Não menos importante, temos a aplicação para o conforto ou personalização do ambiente. Neste sentido, é apresentado o uso de dispositivos que facilitam e se integram no dia a dia do usuário, tais como a cafeteira, a máquina de assar pães, e o controle do ar-condicionado.

Assim, desde facilitar o nosso dia a dia, como usar as máquinas de assar pão, até criar ambientes residenciais confortáveis, como utilizar um controlador de temperatura ambiente, a presença da domótica tem sido presente na vida do homem moderno. Nesta linha de pensamento, o projeto aqui proposto volta-se para a concepção de um sistema automatizado, para uso residencial, e com objetivo de auxiliar na criação de um ambiente agradável, através da utilização de plantas em ambiente residencial.

Deste modo, e sabendo os benefícios do uso de plantas em um ambiente residencial para o ser humano como a purificação e umidificação do ar, redução do estresse e da ansiedade, estimulação da criatividade e aumento da produtividade. Um ambiente doméstico confortável inclui interações e cuidados tanto de animais quanto de plantas. Porém, no tocante às plantas, estas necessitam de um cuidado especial que devido à rotina agitada do cotidiano pode ser protelada ou mesmo esquecida pelo seu cuidador, acarretando na morte dela.

## **1.1 MOTIVAÇÃO**

Sabendo das dificuldades de estabelecer os cuidados necessários para o cuidado com as plantas em ambiente residencial em função das atividades diárias do cuidador, temos como motivação para esse projeto conceber um sistema capaz de estabelecer as condições necessárias para que em casos de esquecimento pelo seu cuidador, seja possível a sobrevivência da planta.

## **1.2 OBJETIVO**

O objetivo do projeto é construir um sistema de irrigação inteligente que seja capaz de identificar a necessidade de irrigação de plantas em ambientes domésticos, ou seja, um sistema autônomo que não necessita de intervenção humana para seu funcionamento. É importante ressaltar que para esta finalidade nenhum sensor de umidade do solo será desenvolvido. Esse sensor será integrado à solução, já existindo vários modelos no mercado.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Para uma melhor descrição e entendimento de como foi desenvolvida esta proposta, o presente trabalho foi estruturado da seguinte forma. O Capítulo 1 (Introdução) indica o contexto e motivação do trabalho, enquanto que o Capítulo 2 são mostrados exemplos de como a domótica pode auxiliar nas atividades diárias através de trabalhos correlatos. O Capítulo 3 mostra o desenvolvimento do projeto e o Capítulo 4 apresenta os testes realizados no sistema desenvolvido. No Capítulo 5 são apresentados os resultados finais do sistema. O trabalho culmina com as Conclusões e ideias para o aprimoramento futuro do projeto.

## 2. TRABALHOS CORRELATOS

Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos na área de ambientes inteligentes e automação residencial. Para entender melhor como as soluções propostas causam um impacto positivo na vida das pessoas, facilitando suas atividades e até mesmo tornando o dia a dia mais seguro, nesta seção, serão mostrados trabalhos correlatos com objetivo de realçar como a domótica proporciona uma melhoria na qualidade de vida.

Em Gomes (2016) foi desenvolvido, um dispositivo para o auxílio na qualidade de vida focado em pessoas portadoras de necessidades especiais. Neste caso, o dispositivo realiza o monitoramento e ativação de saídas elétricas (tomadas), podendo assim controlar o acionamento dos equipamentos a ela ligados e realizar o controle da iluminação residencial. O usuário realiza o controle dos dispositivos da sua residência através de um *website* que pode ser acessado através de telefones, computadores ou *tablets*. Para isto, foi utilizado a plataforma Arduino e módulos relés que realizam o controle das tomadas e módulos dimmer AC que controlam a iluminação, além de um módulo ethernet que conecta o Arduino à rede. Uma limitação encontrada neste sistema é a da impossibilidade de o usuário adicionar recursos no futuro de forma fácil, pois a interatividade do projeto acontece de forma “personalizada”, ou seja, para cada usuário, há a necessidade de adicionar ou modificar algo no sistema e ainda é necessária a intervenção da pessoa que realizou a instalação.

Em Damato (2022) foi desenvolvido um sistema de automação residencial com o objetivo de redução no consumo de energia. Para isso, se fez uso de sensores e controladores para desenvolver um sistema inteligente que se gerencia a necessidade da utilização das lâmpadas em um ambiente residencial. Como uma consequência, criava se uma expectativa de redução do consumo de energia, além de facilitar o trabalho humano de acender e desligar as luzes. Podemos notar uma pequena limitação nesse projeto no sentido de acionar a lâmpada, pois o sistema se atenta apenas para o acionamento quando tiver alguém em um ambiente, não levando em consideração se o ambiente já está adequadamente iluminado sem o acionamento da lâmpada, assim ela se acenderá mesmo quando não houver a necessidade, como por exemplo, mesmo se a iluminação natural naquele momento for satisfatória, a lâmpada irá se acender. Não sendo uma solução de economia de energia para todos os

ambientes, tendo sua maior eficácia em locais fechados.

Em Sousa (2021) temos uma proposta similar com a que temos em Gomes (2016). Porém, aqui temos a adição de um componente de inteligência que reconhece comandos de voz e sua interação com o usuário acontece através de um aplicativo para celular assim como em um *display*. Assim, temos como objetivo a facilitação da entrada de comandos pelo usuário, o qual poderá simplesmente se comunicar oralmente com o sistema não tendo a necessidade de ter um aplicativo ou um site para o controle do acionamento ou desligamento dos equipamentos ligados ao sistema, não sendo necessário o deslocamento do usuário para tal. Para isso foram usados os mesmos componentes que em Gomes (2016) e adicionado um sensor de voz para o reconhecimento do áudio, um auto falante para interação com o usuário e um relógio que possibilita controlar o tempo de atividade dos dispositivos.

Em Cardozo (2021) temos a utilização da domótica para um controle de segurança do ambiente. Tal controle utiliza sensores de presença e de gás para que, caso ocorra um vazamento de gás, e existam pessoas naquela região, o sistema consegue alertar a pessoa através de um sinal luminoso para que, assim, elas possam sair do local com segurança. Muito interessante nesse projeto é utilização de um sensor de luminosidade para regular a intensidade de luz que será utilizada na hora do alerta onde em um ambiente escuro o índice de brilho emitido será baixo, não prejudicando a visibilidade.

Em Cunha (2015) temos um sistema de irrigação que analisa a umidade do solo para identificar a necessidade de ser realizada a irrigação ou não. Essa análise é feita através de um módulo resistivo de umidade do solo. A análise de quando o solo deve ser irrigado, bem como a quantidade de água que será utilizada para irrigação é de total responsabilidade do sistema não tendo usuário como optar por essas decisões.

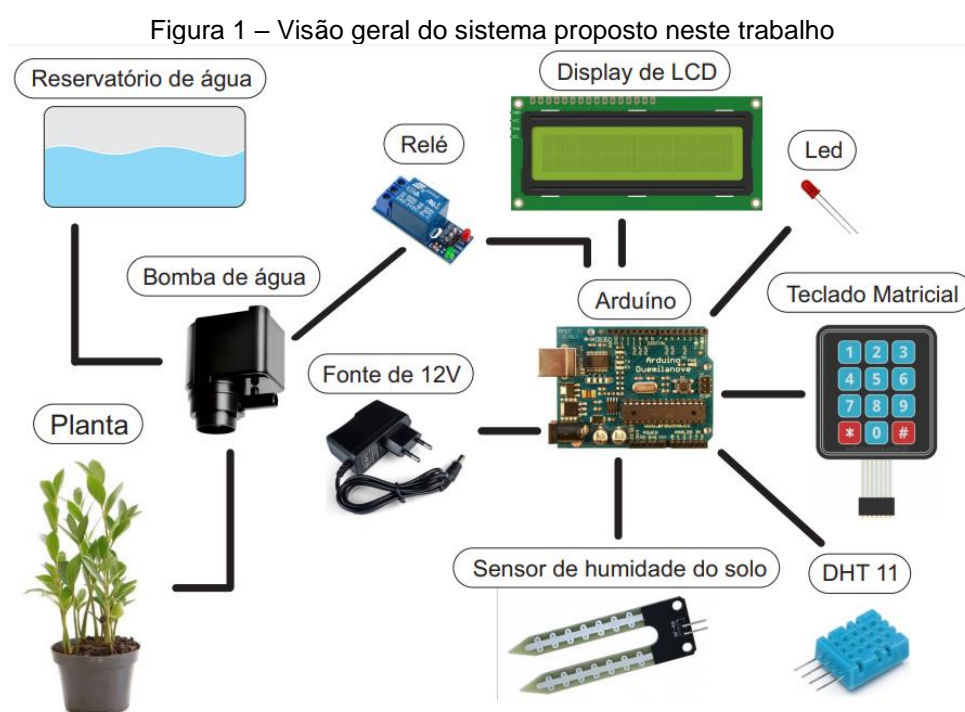
Considerando ainda sistemas relacionados com a irrigação, temos novamente, em Correia (2016), um sistema de irrigação focado na utilização para o agronegócio. Esse sistema consiste em um microcontrolador Arduino, um sensor de temperatura e umidade relativa do ar, um sensor de chuva, um módulo relógio e como atuador uma válvula solenóide, neste caso o acionamento e controle é realizado tanto pelo usuário de forma ativa, como tem a possibilidade de ser acionado de forma autônoma a partir da configuração feita previamente pelo usuário dos horários de irrigação. É importante dizer que, em se tratando de um sistema que controla a irrigação, ele não utiliza

métodos diretos como um sensor de umidade do solo para saber se o solo precisa ser irrigado, porém, ele realiza uma análise de funcionamento do sistema, caso no momento da irrigação esteja chovendo, nesse caso o sistema de irrigação é desligado automaticamente.

De acordo com o exposto, pode-se observar que as aplicações da domótica e automação para cenários que envolvam o cuidado com plantas já possuem um lastro de aplicações. Isso indica que o uso de tecnologia para essa tarefa está estabelecido e em constante evolução. Para ambientes domésticos as possibilidades são diversas, pois a variabilidade do ambiente doméstico é grande. Em termos de sistemas automáticos e inteligentes para a irrigação de plantas no ambiente residencial, embora a concepção desses pareça (visualizando-se os componentes desse sistema) estabelecida, sua utilização nesses ambientes ainda é pouco reportada.

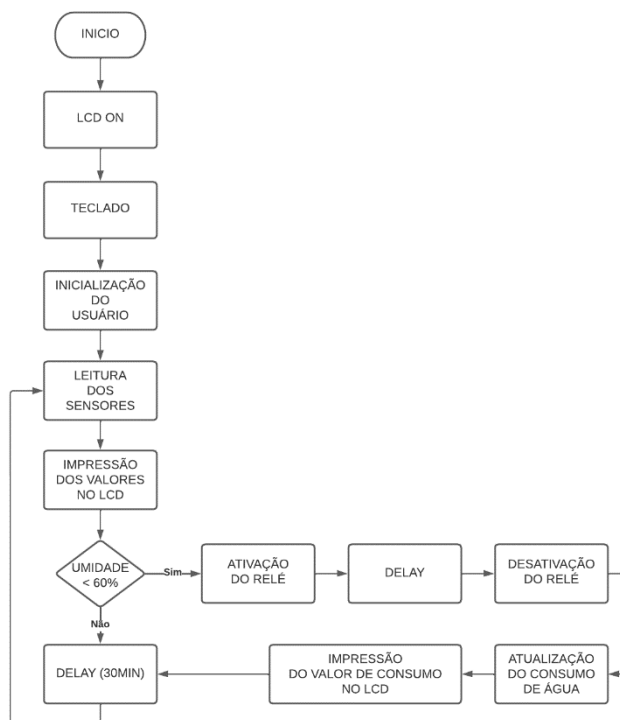
### 3. DESENVOLVIMENTO

Do ponto de vista estrutural, o objetivo desse projeto é criar um dispositivo capaz de realizar a irrigação automática de plantas em ambientes domésticos, de forma a auxiliar as pessoas nos cuidados dessas. Para isso, utilizaremos de conhecimentos na área de eletrônica, informática e programação. Para melhor relatar o desenvolvimento deste trabalho, na Figura 1 são exibidos todos os componentes que foram necessários na concepção e implementação física deste trabalho, na Figura 1.1 temos a visão logica do funcionamento do sistema sendo exibidos a inicialização do sistema e o loop.



Fonte: Autor

Figura 1.1 – Fluxograma do sistema



Fonte: Autor

Como apresentado na Figura 1, temos a utilização de vários componentes, cada um com sua funcionalidade. Iniciando com o microcontrolador que é responsável pelo gerenciamento dos dados que serão enviados pelos sensores e controle dos atuadores. Como um sensor importante, temos o sensor de umidade do solo que é responsável por informar ao microcontrolador as condições atuais do solo para que se decida se haverá irrigação ou não. De posse da decisão anterior, o microcontrolador realiza ou não a ativação da bomba através do módulo relé. Este é responsável por tornar possível o controle preciso da bomba, a qual é a responsável direta pela irrigação do sistema. Temos também a utilização do sensor de umidade e temperatura do ambiente que retorna as informações de temperatura e umidade que serão exibidas no Display de LCD, assim como as informações de umidade do solo e consumo de água. Por fim, temos um LED que é utilizado como alerta para o usuário, informado sobre a falta de água no reservatório.

Assim, o funcionamento do sistema consiste em o usuário informar para o sistema através do teclado matricial a quantidade de água que o solo deverá receber. Desta forma, o circuito analisa o tempo que a bomba deverá ficar acionada para irrigar a quantidade exata de água informada. Após a irrigação é feita a contabilização do

consumo de água. Tal informação é utilizada para verificar se ainda existe água no reservatório, caso não haja água, o circuito informará através de um LED ao usuário e o sistema não será mais ativado para evitar que a bomba se danifique.

### **3.1 MATERIAIS E MÉTODOS**

Com base na Figura 1, temos os elementos que devem receber certo destaque neste capítulo. Para explicar os materiais utilizados, explicaremos o seu funcionamento, sua utilidade para o projeto, assim como suas características.

Primeiramente informaremos os equipamentos utilizados e suas funções para o trabalho. Após isso, os métodos utilizados e a linha de pensamento para o funcionamento do projeto.

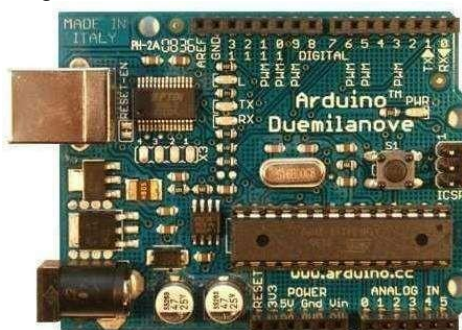
#### **3.1.1 PLATAFORMA DE PROTOTIPAÇÃO**

A plataforma de prototipação será a responsável pelo tratamento das informações que serão enviadas pelos sensores, esta também é responsável pela análise das informações enviadas pelos sensores para decidir sobre a necessidade de irrigar o solo.

Há vários tipos de plataformas que possibilitam o desenvolvimento do projeto. Para esse trabalho foi estudado a viabilidade entre o hardware proprietário da Arduino e Raspberry Pi. O dispositivo escolhido foi o Arduino Duemilanove equipado com o microcontrolador ATmega328. Possui 14 entradas/saídas que permite o funcionamento completo do sistema de forma eficiente.

A Figura 2 mostra a placa que está sendo utilizado neste trabalho. Para o desenvolvimento da programação foi utilizada a IDE open source disponibilizada pela Arduino, além de bibliotecas públicas (“Wire.h”, “LiquidCrystal\_I2C.h”, “DHT.h”, “Keypad.h”, “Adafruit\_Sensor.h”) que auxiliaram na implementação do projeto. Temos também na Tabela 1 as especificações do hardware utilizado, é importante dizer que estas especificações são importantes para o correto funcionamento do trabalho.

Figura 2 - Arduino Duemilanove



Fonte: <https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-duemilanove> Acessado: 24/10/2022

Tabela 1 - Especificação Arduino Duemilanove

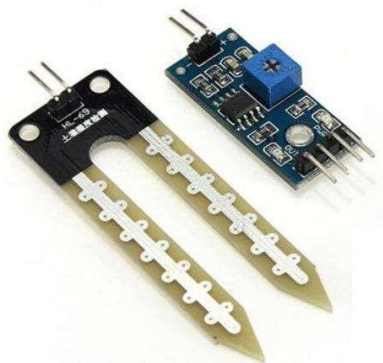
Microcontrolador	ATmega328
Tensão de Operação	5V
Tensão de Entrada (Recomendada)	7V – 12V
Tensão de Entrada (Limite)	6V – 20V
Pinos Digitais I/O	14 (6 fornecem saída PWM)
Pinos de Entrada Analógica	6
Corrente DC pinos Entrada/Saída	40 mA
Corrente DC pino 3,3 V	50 mA
Memória Flash	32 KB sendo 2 KB endereçamento
RAM	2 KB
EPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

Fonte: <https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-duemilanove> Acessado: 24/10/2022

### 3.1.2 SENSOR DE UMIDADE DO SOLO

Tão importante quanto a plataforma de prototipação (se não mais) é o sensor de umidade do solo apresentado na Figura 3. Este componente será o responsável por analisar a necessidade da irrigação do solo.

Figura 3 - Sensor resistivo para umidade do solo



Fonte: <https://www.filipeflop.com/blog/monitore-sua-planta-usando-arduino/> Acessado: 22/10/2022

Para ser possível essa análise do solo, é preciso mensurar a umidade do solo e para isso, foi necessário realizarmos a calibração do sensor, sendo necessário escolher um método de calibração. Entre vários métodos para essa calibração estão: o método da estufa, método da frigideira, método “speedy”, TDR - Time Domain Reflectometer, método expedito do Álcool, método de micro-ondas (SANTOS, 2017).

No Brasil, a determinação da umidade do solo deve seguir a padronização NBR 6457/2016. A secagem é feita em uma estufa, onde a amostra é mantida em temperatura entre 105° C e 110° C até apresentarem peso constante, significando que houve perda total de água por evaporação. A norma determina a equação 1 para obter o teor de umidade do solo:

Para este trabalho, utilizaremos um método análogo ao método da estufa, que é o método tradicional e com maior precisão. Determinamos a massa da amostra no seu estado de secagem completa e adicionaremos água aos poucos. A partir dessa diferença de peso, é possível determinar a umidade relativa do solo na amostra através da equação 1. A cada adição de água, calcularemos a umidade do solo e associamos à saída informada pelo sensor resistivo.

$$h = \frac{[(Mu - Ms) * 100]}{Ms} \quad (1)$$

h = umidade, em % | Ms = massa do solo seco | Mu = massa do solo úmido

### 3.1.3 MÓDULO RELÉ (SISTEMA DE ATIVAÇÃO)

Responsável pela irrigação através do acionamento da bomba, o Módulo relé (Figura 4) é utilizado para que possamos ter controle preciso do nível de água usado

na irrigação. Seu funcionamento consiste no acionamento através de um eletroímã que quando ativado gera um campo eletromagnético responsável por deslocar a conexão dos contatos, assim quando a corrente circula pelo eletroímã se ativa uma das portas e desativa a outra.

Figura 4 - Módulo Relé

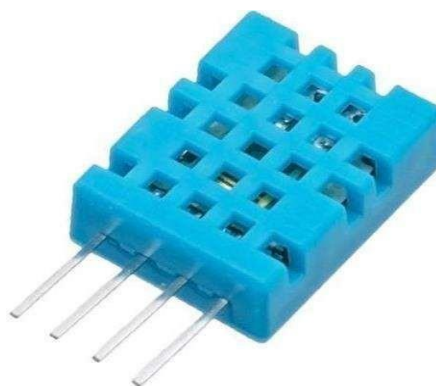


Fonte: <https://www.casadarobotica.com/sensores-e-modulos/modulos/reles/modulo-1-rele-relay-5v?parceiro=3259> Acessado: 22/10/2022

### 3.1.4 SENSOR DHT11

Para realizar as medições de umidade e temperatura do ambiente, optamos por utilizar o sensor DHT11 (Figura 5) por seu baixo custo e alta precisão para o sistema. Além do fato de já existirem bibliotecas que fazem o tratamento dos dados binários enviados pelo sensor para o circuito. O sensor é composto por um termistor NTC e um sensor capacitivo. Esse sensor já vem regulado de fábrica e carrega consigo a sua curva de funcionamento. Sendo dispensável sua regulagem, para uso desse sensor foi utilizado as bibliotecas “DHT.h” e “Adafruit\_Sensor.h”. Temos também na Tabela 2 as especificações do hardware utilizado importante para o correto funcionamento do trabalho.

Figura 5 - Sensor DHT11



Fonte: <https://www.jsumo.com/dht11-humidity-temperature-sensor> Acessado: 24/10/2022

Sua comunicação com o Arduino é feita de modo digital utilizando apenas uma porta de comunicação com o módulo Arduino. Para o tratamento dos dados de umidade e temperatura, são utilizados 40 bits para a coleta dos valores.

Dados = 16 bits de umidade + 16 bits de temperatura + 8 bits de checksum.

Exemplo:

0000 0010 1000 1100 + 0000 0001 0101 1111 + 1110 1110

Umidade + Temperatura + Checksum

Umidade: 0000 0010 1000 1100 -> decimal -> 652 => 652/10 = 65,2%

Temperatura: 0000 0001 0101 1111 -> decimal -> 351 => 351/10 = 35,1 °C

Checksum: 0000 0010 1000 1100 + 0000 0001 0101 1111 = 1110 1110

Tabela 2 - Especificação sensor de temperatura e umidade do ar

Modelo	DHT11
Alimentação	3.5 VCC ~5.5 VCC
Sinal de Saída	Sinal Digital
Taxa de Operação	Umidade 20%~90% RH Temperatura 0 °C ~ 50 °C
Precisão	Umidade +/- 5% RH Temperatura +/- 2 °C

Fonte: [https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet\\_DHT11.pdf](https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_DHT11.pdf) Acessado: 24/10/2022

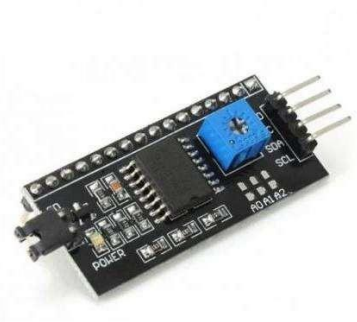
### 3.1.5 MÓDULO I2C

Temos em nosso projeto a necessidade de exibir os dados para o usuário através de um display de LCD, ao ser feito o estudo para uso desse display foi visto que ele ocuparia muitas portas do Arduino. Assim foi preciso utilizar um módulo I2C (Figura 6) que realiza sua comunicação através da comunicação I2C, possibilitando a comunicação do display utilizando apenas 2 portas de comunicação. Porém não podem ser conectadas em qualquer porta serial do Arduino. Tal comunicação só é realizada nas portas A4 e A5 sendo respectivamente as entradas SDA e SCL do sistema sendo também necessário a utilização da biblioteca "Wire.h" responsável pela comunicação I2C, tal biblioteca é nativa da IDE do Arduino.

Segundo Robocore (2022):

“O protocolo I2C foi desenvolvido pela Philips (atual NXP) visando conectar diversos dispositivos (periféricos) utilizando apenas as duas linhas de dados citados acima (SDA e SCL) Serial Data e Serial Clock. A ideia principal é definir um endereço hexadecimal para cada dispositivo e no momento de comunicação somente o dispositivo solicitado responderá.”

Figura 6 - Módulo I2C

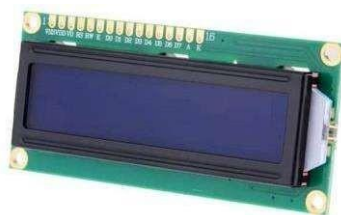


Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-adaptador-i2c-para-display-lcd.html> Acessado: 26/09/2022

### 3.1.6 DISPLAY DE LCD

O display de LCD (Figura 7) foi o meio escolhido para ser a interface de visualização do usuário para com o sistema. O seu funcionamento simples quando combinado com uso da biblioteca “LiquidCrystal\_I2C.h” e com o módulo I2C, já apresentado, aliado ao seu baixo custo de aquisição foi o fator determinante para sua escolha. Temos também na Tabela 3 as especificações do hardware utilizado que foram utilizados para o correto funcionamento do trabalho, neste caso teve que ser atentado a corrente utilizada pelo display encontrado na linha 5 da Tabela 3.

Figura 7 - Display de LCD 16x2



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/display-lcd-16x2-backlight-azul/> Acessado: 26/09/2022

Tabela 3 - Especificação Elétrica Display LCD 16x2

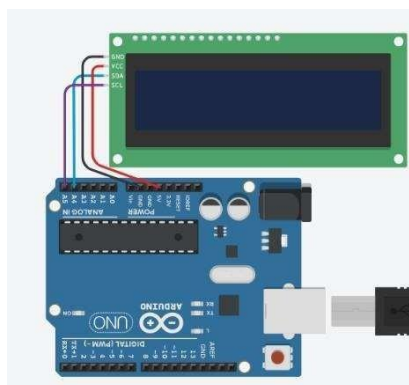
Item	Símbolo	Min	Tipo	Max
Tensão de Operação	VDD	4,5 V	5,0 V	5,5 V
Corrente de Operação	IDD	1,0 mA	1,3 mA	1,5 mA
Tensão de LED	VLED	1,5 V	5,0 V	5,5 V
Corrente de LED	ILED	75 mA	140 mA	200 mA
Temperatura operação	Topr	-20 °C	Null	+70°C
Temperatura Parada	Tsto	-30 °C	Null	+80°C

Fonte: [https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet\\_Display\\_16x2.pdf](https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_Display_16x2.pdf) Acessado:

26/09/2022

A Figura 8 mostra a ligação do display de LED com o Arduino, já com o módulo I2C instalado, utilizando a comunicação I2C para comunicação. É importante dizer que a conexão através da comunicação I2C foi necessário, pois a não utilização desta combinação utilizaria 6 portas de controle do microcontrolador além das portas de alimentação, desta forma utilizando a comunicação I2C reduzimos para 2 portas de comunicação com 2 portas de alimentação.

Figura 8 - Conexão Display ao Arduino



Fonte: Autor

### 3.1.7 PROCESSAMENTO DOS DADOS E CALIBRAÇÃO DO SENSOR

Para o sucesso do projeto foi necessário o estudo do funcionamento resistivo do sensor de umidade do solo. Foi pesquisada, porém não foi encontrada uma base de dados ou mesmo uma referência para realizar o ajuste da curva de funcionamento do sensor. Iniciou-se então o estudo para criar este ajuste.

O processo para encontrar esta curva iniciou-se instalando o sensor em um solo totalmente seco, para isso o solo foi exposto ao sol por 4 dias sendo considerado

então como solo sem umidade então foi-se adicionando pequenas quantidades de água no solo e aferindo o sinal enviado pelo sensor, para isso foi utilizado uma seringa utilizada para adição precisa de 5 ml de água e uma balança de precisão para aferir o peso. Após a coleta desses dados expostos na Tabela 6 foi preciso parametrizar com algo. Para isso foi utilizado a Equação 1, a partir dos elementos encontrados utilizou-se o método da Regressão Linear para obter o ajuste da curva de nível que determina o funcionamento do sistema assim mostrado na Figura 9. Para a Tabela 6 foi utilizada a Equação 1 já mencionada, como iniciando o sistema em 250 g de solo seco.

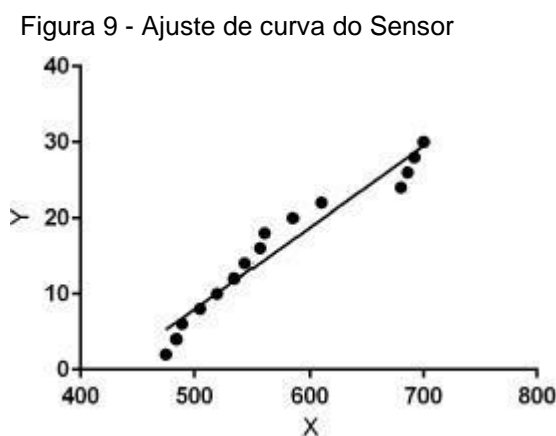
Temos em destaque na Tabela 6, a coleta de dados do sensor de umidade do solo que foi utilizada para realizar a calibração do sensor, para alcançar este objetivo utilizamos a Equação 1 que nos retorna a porcentagem de umidade do solo observe que a coluna 1 da Tabela 6 mostra o valor do peso da água mais o solo assim, a segunda linha é inicializada com 250 g que é a condição inicial do nosso sistema não havendo adição de água após isso na linha 3 temos a adição de 5 ml de água resultando em um peso de 255g, sendo assim foi associado a entrada do sensor de umidade do solo com o valor em porcentagem retornado pela Equação 1 para aquele momento.

Tabela 6 - Coleta dos dados

Água + Solo (g)	Sinal Sensor	Umidade Expressão 1(%)	Umidade Ajustada (%)
250	30	0	Null
255	475	2	7
260	484	4	10
265	489	6	12
270	505	8	19
275	520	10	25
280	535	12	31
285	544	14	35
290	556	16	40
300	585	20	52
305	610	22	62
310	680	24	91
315	686	26	93
320	692	28	96
325	700	30	99

Fonte: Autor

A partir dos dados coletados, foi possível analisar os pontos obtidos e optar por um método capaz de representar esses pontos de modo contínuo. Desta forma o método escolhido foi utilizar o método da regressão linear obtendo assim a equação 2. Na Figura 9 pode-se observar os pontos obtidos com a equação 1 e a reta obtida pela equação 2.



Fonte: Autor

$$Y = 0.1079 * X - 46 \quad (2)$$

Legenda:

X = Sinal Sensor

Y = Umidade Expressão 1 (%)

Como se observa na Tabela 6 coluna 3 linha 16 a porcentagem em função da equação 1 só vai até 30% e isso ocorre pois a partir deste ponto o sensor ficou saturado e o solo totalmente encharcado. Para melhor exibição da informação para o usuário foi feita outra regressão linear para realizar a conversão do intervalo de 0% a 30% para 0% a 100%, tal conversão é utilizada como um meio de exibir melhor a informação para o usuário, não afetando o funcionamento real do sistema. Esta conversão é definida pela equação 3.

$$Y = 3,807 * X - 12,95 \quad (3)$$

Legenda:

X = Umidade Equação 2 (%)

Y = Umidade Ajustada

### 3.1.8 CUSTO DE PRODUÇÃO

Para o desenvolvimento do projeto foi considerada a utilização do material com melhor custo-benefício para que o desenvolvimento do projeto seja viável para o consumo em larga escala.

Tabela 7 - Referente aos gastos para a produção do protótipo.

COMPONENTES	VALOR AQUISIÇÃO	VALOR INTERNET
Arduino Duemilanove	R\$130,00	R\$115,00
Sensor umidade do solo	R\$10,00	R\$8,00
Sensor umidade e temperatura DHT11	R\$16,00	R\$15,00
Bomba hídrica	R\$35,00	R\$35,00
Relé	R\$10,00	R\$8,00
Teclado 4X3	R\$15,00	R\$4,00
Display LCD	R\$20,00	R\$5,00
Total	R\$236,00	R\$190,00

### 3.1.9 MÉTODOS SIMULAÇÃO

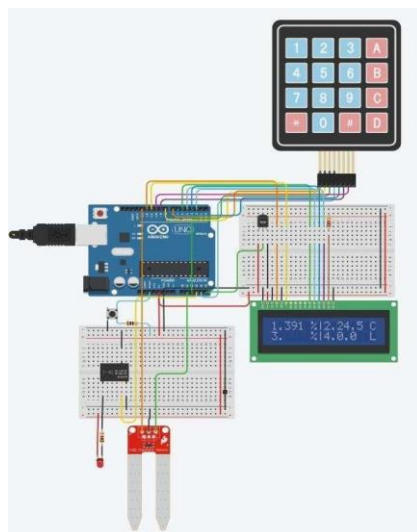
Já decidido a idealização do projeto, foi feito primeiramente a montagem no simulador “Tinkercad” para dar início à produção do sistema e estudar o comportamento praticos dos componentes no circuito além de facilitar na solução de bugs no código fonte.

Desta forma, o simulador foi utilizado para entender o funcionamento dos dispositivos e ligações elétricas necessárias, facilitando o processo de aprendizagem dos componentes, tais como a comunicação do display de LCD e o teclado matricial. O primeiro tem a particularidade do uso de bibliotecas específicas para seu funcionamento que, neste trabalho, foi utilizada a biblioteca “LiquidCrystal\_I2C”.O segundo foi preciso desenvolver um método de leitura dos botões, esta leitura e desenvolvimento foi facilitado pelo uso do simulador associado ao uso da biblioteca “Keypad.h”. Assim, foi possível desenvolver toda a parte lógica do sistema ficando, apenas a validação no ambiente real de trabalho. A Figura 10 exhibe a ideia geral do projeto, já com seus componentes. É importante destacar que o LED no circuito representa a ativação da bomba que irriga o sistema. A Figura 10.1 exhibe o esquemático da Figura 10, é importante destacar que por limitações da simulação só

foi possível executá-la sem a utilização do módulo I2C.

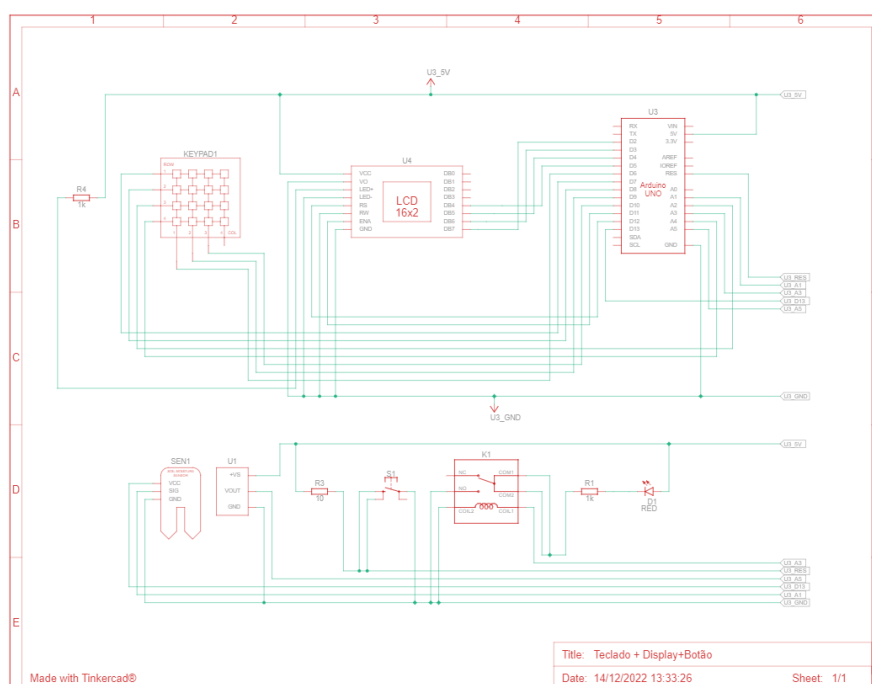
Após o entendimento e construção do circuito, foi utilizada novamente a simulação para validação da equação 2 e equação 3, referentes ao tratamento das informações enviadas pelo sensor de umidade do solo. Neste ponto também foi analisado o funcionamento do teclado matricial como entrada do dado de quantidade de água a ser usada na irrigação pelo sistema.

Figura 10 – Sistema representado no simulador



Fonte: Autor

Figura 10.1 – Esquemático



Fonte: Autor

#### 4. CIRCUITO TESTE

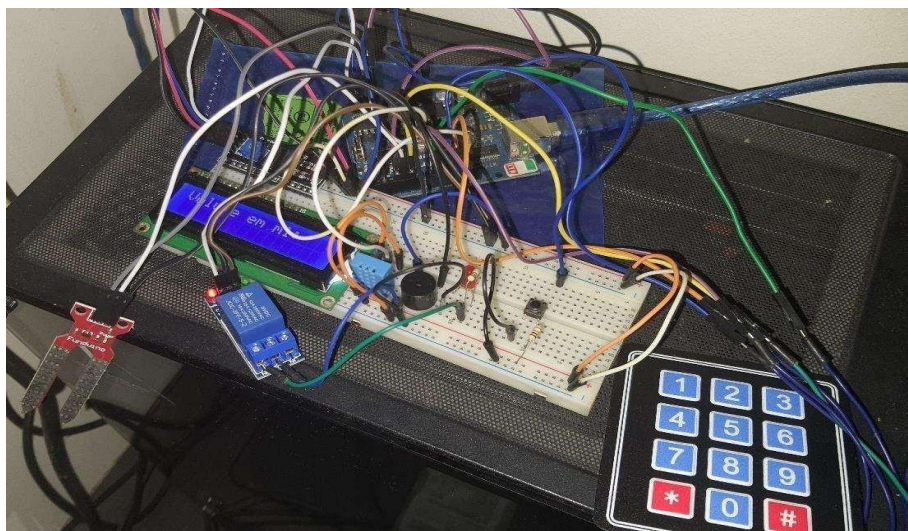
Dando andamento nas validações em ambiente real, foi necessário realizar a calibração do módulo sensor de umidade do solo, tal ajuste foi explicado em 3.1.7. Feito isso, foram realizados os testes no ambiente de simulação para comprovação do funcionamento do método. Após verificado o funcionamento e comprovada a real funcionalidade do circuito desenvolvido, foi colocado em teste o circuito montado em ambiente externo. O sistema foi colocado em um vaso após a instalação física foi então energizado e configurado a adição de 250 ml de água de início o ciclo de funcionamento foi definido com um *delay* de 5 minutos para ser observado a funcionalidade do sistema e a calibração do sensor de umidade do solo.

Realizando os testes iniciais, foi então modificado o *delay* para 30 minutos e testado novamente o sistema por 2 dias configurado o sistema para a adição de 200 ml de água, a cada 6 horas foi analisado a situação do solo, umidade do solo informada no LCD e o nível de consumo de água do reservatório com o consumo informado pelo sistema. Foi visto que o sistema atua de maneira planejada, houve a alteração no nível de umidade do solo e o consumo de água do reservatório estava representado de maneira satisfatória.

Assim foi comprovado que o sistema de irrigação funciona de acordo com o planejado. Foi visto que as medições do sensor de umidade e temperatura do ambiente se comportaram dentro do esperado, informando as informações de maneira satisfatória. Sobre o sensor de umidade do solo, este se mostrou bem capaz em realizar as medições para o circuito foi observado que quando o solo está úmido ele é capaz de analisar esta situação.

Ao mesmo tempo foi visto que o sensor de umidade do solo utilizado tem seu funcionamento bem afetado quando colocados em áreas grandes, podendo assim afetar as informações sobre o solo. Isso foi visto quando era adicionado água diretamente no sensor de umidade do solo enquanto o resto do solo não era irrigado. Para resolver essa limitação foi optado por utilizar uma mangueira perfurada que realiza a irrigação de maneira uniforme, reduzindo a diferença do nível de umidade em diferentes áreas do vaso. Para os testes foram utilizados vasos pequenos e grandes, não esquecendo que o funcionamento, prejudicado em grandes áreas, é uma limitação física do sensor que está sendo usado.

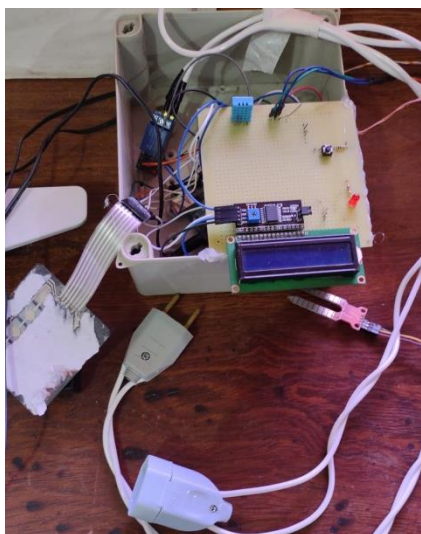
Figura 11 – Circuito de teste



Fonte: Autor

Ao final de todas as etapas de teste, foi montado o circuito no ambiente de teste final, onde foi colocado o sistema em um vaso com planta juntamente com a bomba e o recipiente que armazena a água. O sistema apresentou um comportamento dentro esperado nos testes e na simulação, aferindo os níveis de umidade e temperatura do ambiente, assim como irrigando o solo somente quando necessário, além de obter o controle de água disponível no reservatório satisfatório. A figura: 12 mostra o projeto finalizado com o *display* de LCD, teclado, sensor de umidade do solo, sensor de umidade e temperatura DHT11 e modulo relé.

Figura 12 – Circuito finalizado



Fonte: Autor

## **5. CONCLUSÃO**

Antes de demonstrar a conclusão, vamos lembrar o objetivo do projeto. O objetivo foi desenvolver um circuito eletrônico de baixo custo que realizasse de forma autônoma a irrigação do solo quando necessário, evitando a degradação da planta devido o esquecimento do usuário em realizar a irrigação. Assim, o usuário tem que informar a quantidade de água que o solo deverá receber a cada ciclo necessário.

No geral foram realizados todos os objetivos destacados no projeto, o sistema se comporta bem em realizar e analisar a umidade do solo, o tempo do ciclo de irrigação se mostrou muito efetivo visto que, ao realizar a irrigação do solo, damos um tempo para que a água possa se ajustar no ambiente e somente então realizamos uma nova análise para verificar a necessidade de uma nova irrigação.

### **5.1. APRIMORAMENTOS FUTUROS**

Alguns aprimoramentos foram utilizados neste trabalho que o tornaram possível. Porém, tudo que é bom pode melhorar. Assim, exibirei algumas possíveis melhorias.

Iniciando com um controle maior do usuário de quando irrigar a planta. Neste projeto realizamos um estudo de uso de um sensor resistivo e conseguimos obter uma boa precisão sobre a porcentagem de água no solo. Assim, seria interessante o usuário poder optar em qual nível de umidade ele deseja que sua planta seja irrigada.

Neste projeto objetivamos um sistema simples e capaz de realizar sua proposta, porém nele não existe conectividade com a internet. Assim, não foi possível ter uma interface de exibição de dados mais interativa com o usuário através de um app ou mesmo um website onde as informações pudessem ser acompanhadas em tempo real.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] STEVAN, S.L.S.J; FARINELLI, F.A.F. Domótica: Automação Residencial e Casas inteligentes. 1ª Edição. São Paulo: Érica, 2019.
- [2] BARROS, A. L. Edifícios Inteligentes e a Domótica: Proposta de um Projeto de Automação Residencial utilizando o protocolo X-10. 2010. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Informática de Gestão, Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Cidade da Praia, 2010.
- [3] GOMES, Andrew Bueno; SILVA, Guilherme de Almeida Cardoso; GELACKI, Raphael. Título do trabalho: Automação Residencial Utilizando uma Plataforma de Baixo Custo. 2016. 50. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa,2016.
- [4] DAMATO, Luan Rocha; GHAZZAUI, Tarik Vieira; BASILE, Antonio Luiz. Título do trabalho: Automação e seu impacto na eficiência energética. Faculdade de Computação e Informática – Universidade Presbiteriana Mackenzie Rua da consolação, 930 - São Paulo – SP – Brasil, 2022.
- [5] SOUSA, Júlio César Gonçalves. Título do trabalho: PROTÓTIPO DE DOMÓTICA PARA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL. Cajazeiras-PB, 2021.
- [6] CARDOZO, Giovanni. Título do trabalho: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA A SISTEMAS SUPERVISÓRIOS DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM INTERNET DAS COISAS, 2021.
- [7] CUNHA, K. C. B da; ROCHA, R. V, Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduíno. RECoDAF - Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, Tupã, v. 1, n2, p.62-74, jul/dec, 2015. ISSN: 2448-0452.
- [8] CORREIA, G. R.; ROCHA, H. R. O.; RISSINO; S.D.R, Título do trabalho: AUTOMAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM MONITORAMENTO VIA

APLICATIVO WEB, VIÇOSA - MG, 2016.

[9] SANTOS, John, Título do trabalho: DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO, Laboratório de Geotecnia e Pavimentação - UDESC, Santa Catarina, 2017.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457/2016 - Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

[11] Módulo I2C – Primeiros Passos. ROBOCORE, São Paulo, 20 de ago de 2018. Disponível em: <https://www.robocore.net/tutoriais/primeiros-passos-com-modulo-i2c>. Acesso em: 15 de ago. de 2022.

## ANEXO

### BIBLIOTECAS UTILIZADAS PARA A PROGRAMAÇÃO

- [1] Keypad.h. Necessario para o funcionamento do teclado matricial Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/robocore-tutoriais/272/Keypad-master.zip>
- [2] Wire.h. Necessario para a comunicação I2C. Nativo da IDE do Arduino
- [3] LiquidCrystal\_I2C.h. Necessario para a manipulação dos dados no *display* de LCD Disponível em: [https://github.com/johnrickman/LiquidCrystal\\_I2C](https://github.com/johnrickman/LiquidCrystal_I2C)
- [4] DHT.h. Disponível em: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>
- [5] Adafruit\_Sensor.h. Disponível em: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_Sensor](https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor)