

# **Desenvolvimento de uma estufa de baixo custo para cultivo de hortaliças em apartamentos.**

Rafael Guedes Coimbra

Matheus Perin

## **Resumo**

Com a crescente urbanização e a diminuição de espaços verdes nas cidades, muitas pessoas têm buscado alternativas para cultivar suas próprias hortaliças em ambientes urbanos. Uma das soluções para esse problema é o uso de estufas para cultivo em apartamentos. Neste artigo, será apresentado o projeto de uma estufa pequena para criação de hortaliças em apartamentos, com controle de temperatura e medição de umidade. O projeto foi desenvolvido a partir de pesquisas em trabalhos de conclusão de curso e artigos científicos sobre o assunto, visando oferecer uma opção prática e eficiente para quem deseja cultivar seus próprios alimentos em ambientes internos. Serão apresentados e discutidos os principais aspectos do projeto, desde a escolha dos materiais até a instalação dos equipamentos de controle ambiental.

Os resultados dos testes experimentais indicam que o sistema de controle de temperatura foi eficaz, mantendo a estufa dentro dos limites desejados. Conclui-se que o protótipo é promissor para o cultivo urbano, destacando a importância de futuras otimizações para aprimorar a eficácia e a precisão do monitoramento ambiental.

**Palavras chave:** estufa, cultivo de hortaliças, controle de temperatura, controle de luminosidade, medição de umidade.

## **Introdução**

Segundo dados Associação de Promoção dos Orgânicos (Organis), a produção de alimentos orgânicos no Brasil cresceu 30% em 2020, chegando a

movimentando R\$ 5,8 bilhões (ORGANIS, 2023). Dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) também indicam um crescimento de 200% no número de produtores de orgânicos cadastrados no Brasil entre 2012 e 2019 (MAPA, 2023). Esse crescimento é impulsionado pela busca por alimentos mais saudáveis e pela preocupação com a preservação do meio ambiente. As hortaliças são um dos principais produtos orgânicos cultivados no país, representando cerca de 40% do total de produtos orgânicos produzidos.

A preocupação com a qualidade dos alimentos que são consumidos tem levado muitas pessoas a buscar alternativas para cultivar suas próprias hortaliças em ambientes urbanos, como apartamentos. Adicionalmente, com o crescimento da população mundial e a concentração em áreas urbanas, tem-se observado uma grande demanda por espaços verdes em ambientes internos. O cultivo de hortaliças em ambientes urbanos pode ser uma forma de atender a essa demanda e contribuir para a disseminação do cultivo sustentável. No entanto, a falta de espaço e a falta de luz natural podem ser fatores limitantes para o cultivo em ambientes internos. Nesse contexto, o uso de estufas pode ser uma solução para esses desafios, pois permitem o controle das condições ambientais, tais como temperatura, umidade e iluminação. O cultivo em estufas oferece vantagens, como maior produtividade, melhor qualidade dos produtos, menor consumo de água e nutrientes, além de proteção contra pragas e doenças.

Esta demanda motivou o desenvolvimento de diversos trabalhos ao longo dos últimos anos. Azevedo Junior (2016) analisou a viabilidade técnica de criação de uma estufa de uso doméstico em tamanho reduzido, desenvolvendo um protótipo baseado na plataforma Arduino para controle de temperatura, quantidade de água, umidade do solo, umidade do ar e luminosidade. Resultados obtidos em três cenários distintos mostraram a funcionalidade e provaram a viabilidade do sistema proposto. Em um trabalho semelhante, Da Silva Junior (2017) apresentou uma solução para gerenciamento e monitoramento de estufas baseada na tecnologia da Internet das Coisas, apresentando o desenvolvimento do hardware responsável pela medição e controle da estufa, além de um aplicativo mobile para monitoramento dos dados. Embora em geral o sistema tenha funcionado de forma satisfatória, o autor

ponderou que o resfriamento da estufa não foi eficiente devido ao baixo custo do dispositivo utilizado para esta função. Mais recentemente, Longo e Abreu (2021) também propuseram uma solução para controle automático de estufas baseada no conceito de Internet das Coisas e implementada através de um microcontrolador PIC18F4520 e uma placa ESP8266, apresentando resultados satisfatórios para controle de temperatura, umidade do solo e abertura de tela de sombrite, bem como para monitoramento destes e de outros parâmetros da estufa.

O monitoramento e controle de estufas projetadas para ambientes internos também motivou o desenvolvimento de sistemas mais complexos, como aqueles baseados em controle preditivo baseado em modelo (MPC). Achour et. al (2020) propuseram um controlador baseado nesta estratégia para manter em níveis ótimos variáveis críticas de estufas, entre as quais incluem-se luminosidade, taxa de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade. O problema foi desenvolvido visando maximizar a taxa de fotossíntese otimizando o uso da água disponível e dos recursos energéticos. O sistema foi validado através de dois estudos de caso, onde constatou-se sua aplicabilidade e efetividade em manter as variáveis de interesse nos níveis desejados mesmo na presença de incertezas nos dados utilizados. Mais recentemente, foi apresentado um estudo sobre a viabilidade de controlar as variáveis climáticas de estufas através de controle preditivo baseado em modelo transferível utilizando dados experimentais de outra estufa diferente (ZHAO et. al, 2022). Os resultados mostraram que, de forma geral, é possível a utilização do modelo transferível da estufa nas demais, embora a predição de temperatura não tenha sido satisfatória e demande melhorias no modelo transferível.

Outros estudos aplicados na automação de controle de estufas projetadas para ambientes internos apresentados nos últimos anos envolveram controle PID de luminosidade em ambientes escuros (CONTRERAS, BEGOVICH, 2022) e controle PID de umidade e temperatura (GUNARATHNE et. al, 2021). Já Ya-Shan et. al (2022) realizaram a simulação numérica do controle e temperatura de estufas inteligentes baseada em dados de fluxo térmico nas paredes da estufa relativos a diferentes estações do ano, fornecendo dados importantes para o projeto de controladores deste tipo de dispositivo.

Neste trabalho, serão apresentados os principais aspectos do projeto de uma estufa pequena para cultivo de hortaliças em apartamentos, com controle de temperatura e monitoramento de umidade. Serão discutidos os materiais utilizados, a montagem da estrutura da estufa e a instalação dos equipamentos de controle ambiental visando as melhores práticas para o cultivo de hortaliças em ambientes internos. A expectativa é que este trabalho possa incentivar a prática do cultivo urbano e contribuir para a disseminação de soluções sustentáveis para o uso de espaços urbanos.

## **Materiais e métodos**

O protótipo da estufa será projetado com base na pesquisa bibliográfica realizada e envolverá a montagem e validação experimental do dispositivo. O foco do trabalho será a validação do sistema eletrônico e do *software* responsável pelo controle da temperatura da estufa e do monitoramento da umidade do solo.

A estrutura mecânica da estufa será fabricada em chapas de mdf com seis milímetros de espessura e com acrílico transparente de três milímetros. Para a montagem do sistema de monitoramento e controle, serão também necessários relés de estado sólido, resistência para aquecimento da estufa, display de LCD, sensor de temperatura e sensor de umidade, os quais serão especificados nas próximas seções.

O controle da estufa será feito utilizando uma placa de desenvolvimento ESP32, que se trata de um dispositivo IoT (Internet das Coisas) que consiste de um microprocessador de baixa potência dual core *Tensilica Xtensa* 32-bit LX6 com suporte nativo à rede *WiFi*, *Bluetooth v4.2* e memória *flash* integrada. Dentre as principais características deste dispositivo, pode-se citar o baixo consumo de energia, robustez, versatilidade e confiabilidade.

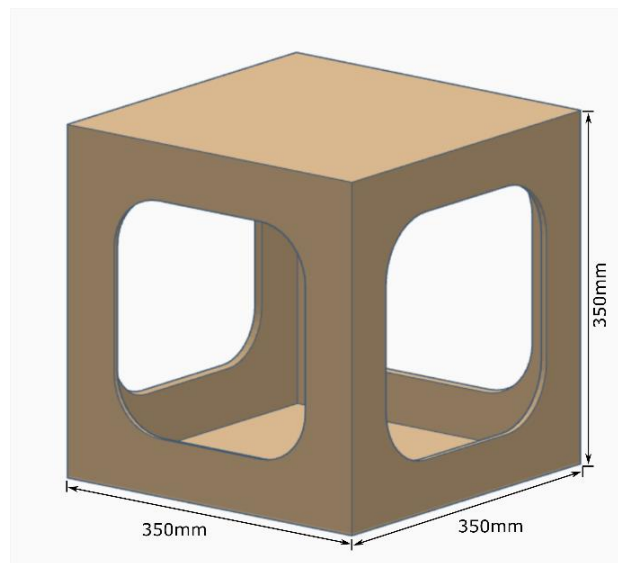
Os testes e validação experimental do protótipo envolverão o controle *on-off* de temperatura em torno de um valor pré-definido, o controle de luminosidade com base no horário do dia e o monitoramento da umidade do solo da estufa. De

forma geral, o objetivo é verificar se o sistema é capaz de manter a temperatura estável em torno do valor desejado ao longo do tempo.

### **Estrutura Mecânica da Estufa**

Conforme explicado anteriormente, a estufa será confeccionada com chapas de mdf de seis milímetros de espessura, as quais serão cortadas utilizando uma máquina de corte a laser CNC. Dadas as limitações da área de trabalho da máquina de corte, definiu-se que o protótipo será um cubo com 35 centímetros de aresta, conforme mostrado na Figura 1. As janelas da estufa serão fabricadas com chapas de acrílico transparente de três milímetros.

Figura 1 – Estrutura mecânica da estufa.



Fonte: o próprio autor (2023).

### **Projeto do Sistema Eletrônico para Controle e Monitoramento da Estufa**

O projeto do sistema eletrônico da estufa envolve a especificação e montagem dos componentes necessários para o controle e monitoramento das grandezas da estufa. Conforme explicado, o objetivo do sistema é o controle da temperatura interna da estufa, a qual será realizada utilizando uma resistência de aquecimento de 200 watts e um sensor de temperatura DS18B20, o qual é

mostrado na Figura 2. Optou-se pela utilização deste sensor devido à sua precisão de  $0,5^{\circ}\text{C}$  e pela facilidade de comunicação com dispositivos microcontrolados através do protocolo One-Wire (MAXIM INTEGRATED, 2019). Assim, caso seja desejável adicionar mais sensores de temperatura, não são necessárias alterações significativas no hardware, bastando conectar os novos sensores no mesmo barramento do sensor atual.

Figura 2 – Sensor de temperatura DS18B20.



Fonte: Eletrogate (2023a).

O acionamento da resistência de aquecimento será realizado utilizando um relé de estado sólido, o qual consiste em um elemento semiconductor que realiza a função de um relé convencional, porém sem a desvantagem de possuir contatos móveis. Assim, além de possuir uma vida útil maior, o relé de estado sólido possibilita a utilização de frequências de chaveamento mais altas, o que permite a implementação de estratégias de controle baseadas em modulação por largura de pulso (PWM).

O monitoramento da umidade do solo será realizado utilizando um sensor capacitivo, conforme mostrado na Figura 3. Este sensor foi escolhido devido ao baixo custo e também por apresentar maior robustez comparado com outras alternativas como sensores de umidade resistivos. Basicamente, o sensor é inserido no solo cuja umidade deseja-se medir, e a tensão de saída será proporcional à umidade. Para realizar a calibragem do sensor, foi realizada medição do ar, o qual assumiu-se como 0% de umidade, e medição com o sensor inserido em água, cujo resultado assumiu-se como o limiar para 100% de umidade. Neste caso, utilizando o ESP32 para realização da leitura em ambos os casos e considerando o conversor A/D com resolução de 12 bits, obteve-se a leitura analógica de 2640 para 0% de umidade, e 1000 para 100% de umidade.

Figura 3 – Sensor de umidade de solo capacitivo.

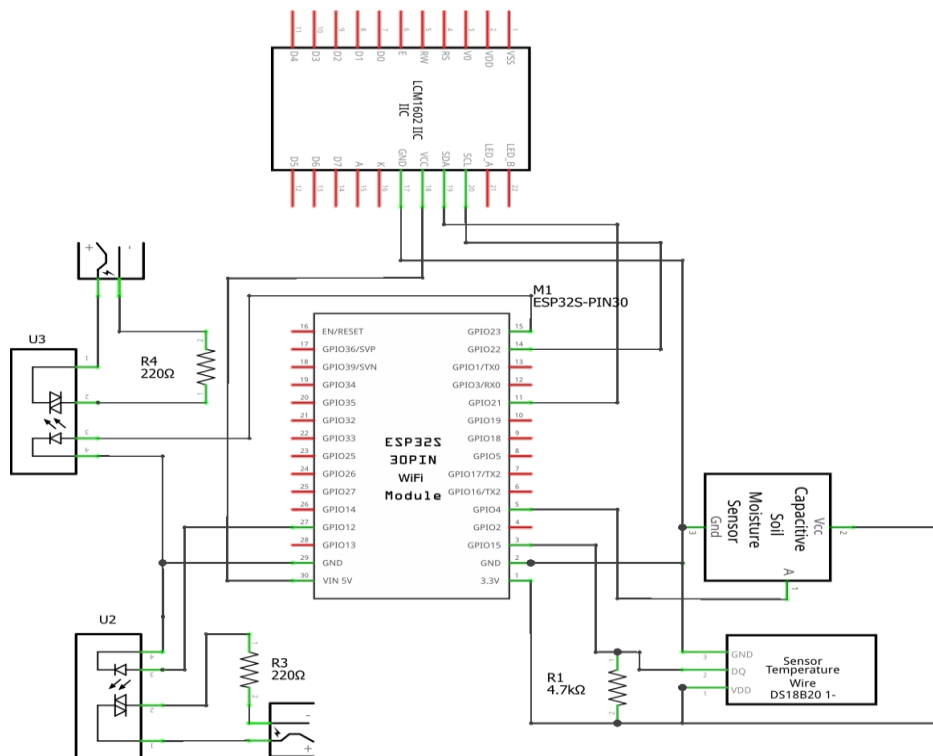


Fonte: Robocore (2023).

Por fim, os valores de temperatura e umidade medidos serão exibidos em um display LCD 16x02, cuja interface com o ESP32 será feita através de um módulo de comunicação I2C. Desta forma, o display LCD é controlado pelo ESP32.

O esquema elétrico de ligação do sistema eletrônico para controle e monitoramento da estufa é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Esquema de ligação do sistema de controle e monitoramento (U2 e U3 são relés de estado sólido).

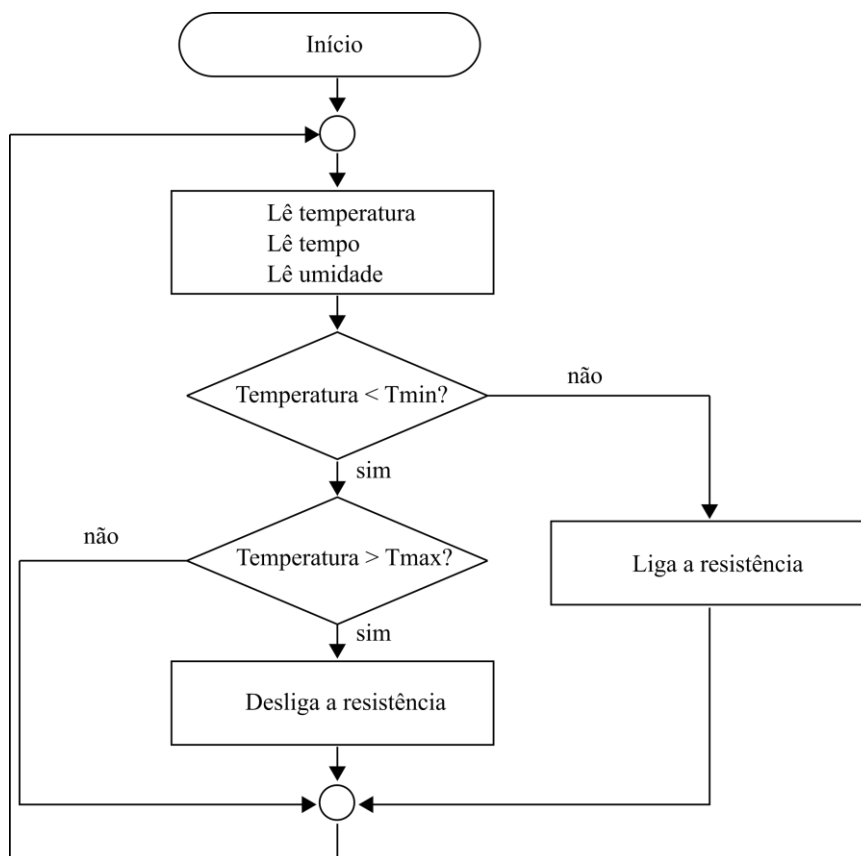


Fonte: o próprio autor (2023).

## Algoritmo de Controle da Estufa

Nesta seção é apresentado o algoritmo responsável pelo controle da estufa. Basicamente, o algoritmo inicia realizando a leitura das grandezas de temperatura, tempo e umidade. Após, verifica se a temperatura está abaixo do valor mínimo pré-definido ( $T_{min}$ ). Se este for o caso, a resistência é mantida ligada. Por outro lado, se o valor de temperatura estiver acima do valor máximo pré-definido ( $T_{max}$ ), a resistência é mantida desligada. Na sequência, são atualizados os valores de temperatura e umidade mostrados no display LCD. Estes passos devem repetidos nesta sequência enquanto a estufa estiver ligada. A Figura 5 apresenta o fluxograma do algoritmo, enquanto a Figura 6 mostra o software implementado no ESP32 utilizando o Arduino IDE. Nesta implementação, definiu-se que o valor mínimo de temperatura como  $27^{\circ}\text{C}$  e o valor máximo de temperatura como  $28^{\circ}\text{C}$ .

Figura 5 – Fluxograma do algoritmo.



Fonte: o próprio autor (2023).

Figura 6 – Código do algoritmo implementado no IDE Arduino.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define SENSOR_PIN 15 // atribui pino 15 para o sensor de temperatura
#define RESISTENCIA 23 // atribui pino 23 para a resistência
#define MOISTURE_PIN 4 // atribui pino 4 para o sensor de umidade

OneWire oneWire(SENSOR_PIN); //Inicializa comunicação do sensor de temperatura
DallasTemperature DS18B20(&oneWire); // Cria objeto para o sensor de temperatura
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Cria objeto para o display LCD
float tempC,umidade; //cria variáveis float para a temperatura e umidade
int sensor_umidade,R=0; //cria variável int para a umidade

void setup() {
  pinMode(RESISTENCIA, OUTPUT); // define o pino da resistência como saída
  ledcAttachPin(RESISTENCIA, 0); //Atribui o canal 0 do PWM à resistência
  ledcSetup(0, 2, 10); //configura PWM para frequência de 2 Hz e resolução de 10 bits
  DS18B20.begin(); // inicializa o sensor de temperatura
  lcd.init(); // inicializa o display LCD
  lcd.backlight(); // liga a luz de fundo do display
}

void loop() {
  DS18B20.requestTemperatures(); // solicita temperatura ao sensor
  tempC = DS18B20.getTempCByIndex(0); // lê temperatura em graus Celsius
  sensor_umidade = analogRead(MOISTURE_PIN); // lê umidade
  umidade=map(sensor_umidade,1000,2640,100,0); //converte a umidade para porcentagem
  if(umidade<0){ // fixa o valor mínimo percentual da umidade
    umidade = 0;
  }
  if(umidade>100){ // fixa o valor máximo percentual da umidade
    umidade=100;
  }
  if (tempC < 27) { //verifica se temperatura medida é menor que temperatura mínima
    ledcWrite(0, 512); //liga resistência
    R=1;
  }
  else {
    if (tempC > 28) { //verifica se temperatura medida é maior que temperatura máxima
      ledcWrite(0, 0); // desliga resistência
      R=0;
    }
  }
  lcd.clear(); //atualiza os valores lidos no display LCD
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp.: ");
  lcd.print(tempC);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Umid.: ");
  lcd.print(umidade);
  lcd.print("%");
  delay(500); //repete o laço a cada 500 ms
}
```

Fonte: o próprio autor (2023).

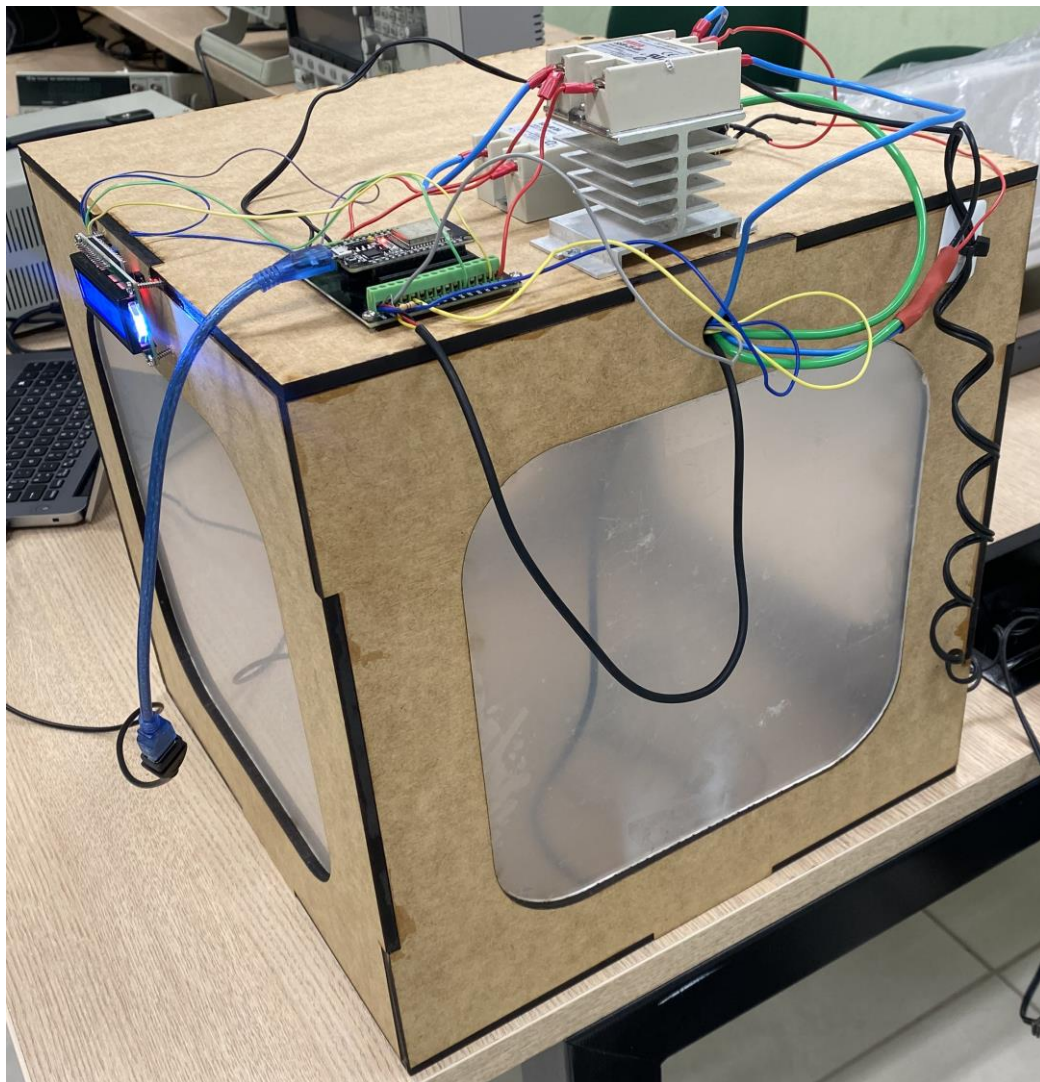
O código exibido na Figura 7 utiliza 274.965 *bytes* de armazenamento, correspondendo a 20% do espaço disponível no ESP32, enquanto as variáveis

globais utilizam 21.752 *bytes* de memória dinâmica, correspondendo a 6% da capacidade do ESP32.

### Montagem do Sistema e Validação Experimental

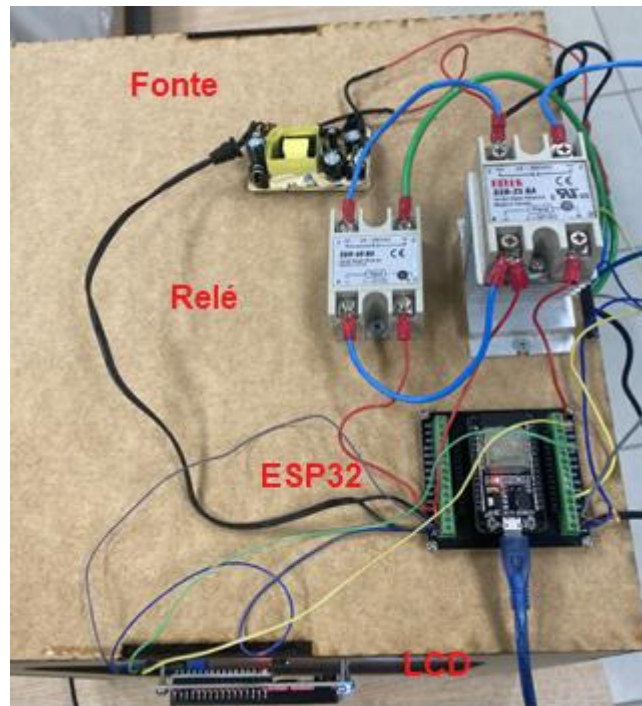
O sistema descrito nas seções anteriores foi montado utilizando os materiais e componentes mencionados, resultando no protótipo mostrado nas Figuras 6-8. A Figura 6 apresenta uma visão geral do protótipo, enquanto a Figura 7 mostra o circuito eletrônico de controle e monitoramento e a Figura 8 mostra o interior da estufa, detalhando a localização da resistência de aquecimento e mostrando os sensores de umidade e temperatura.

Figura 6 – Visão geral do protótipo.



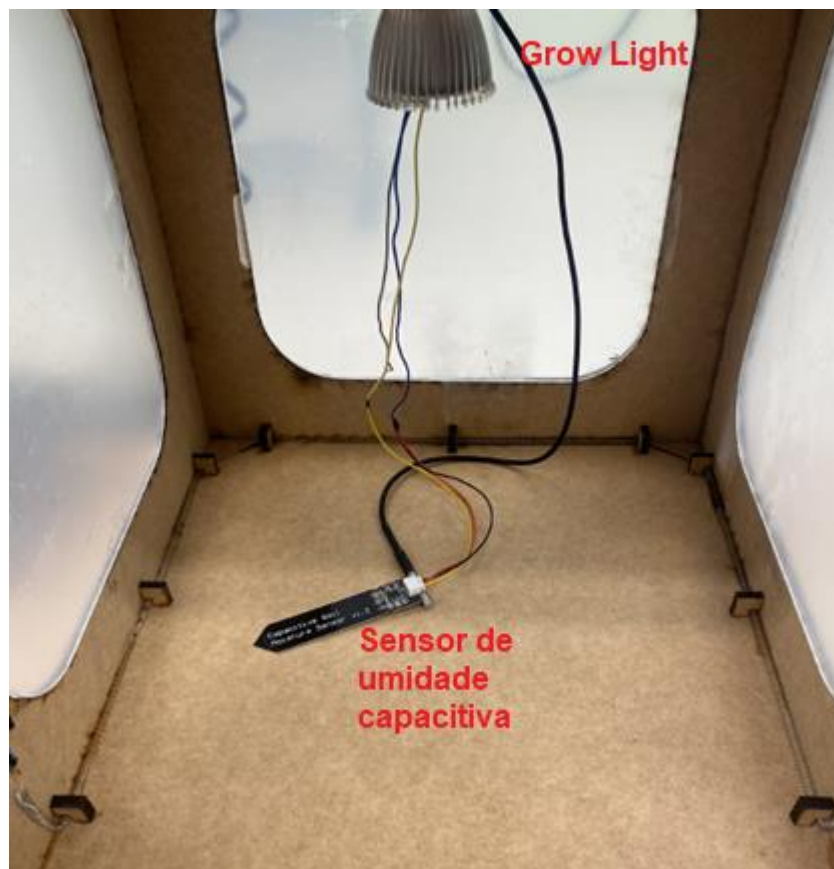
Fonte: o próprio autor (2023).

Figura 7 –Circuito eletrônico de controle e monitoramento.



Fonte: o próprio autor (2023).

Figura 8 – Interior do protótipo.



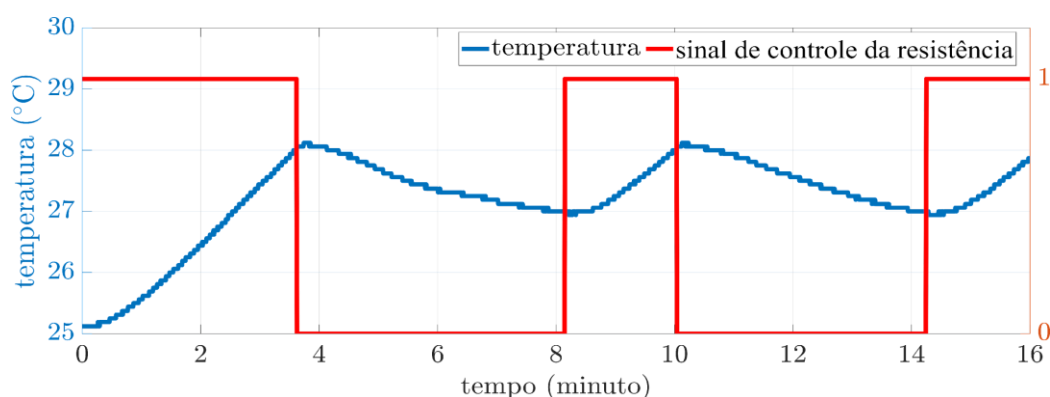
Fonte: o próprio autor (2023).

A resistência foi posicionada na parte inferior da estufa devido ao fato do ar quente subir, diminuindo assim o gradiente de temperatura no interior do protótipo. Não obstante, uma possível melhoria da estufa seria a inclusão de uma ventoinha para fazer o ar circular e homogeneizar a temperatura no interior.

Foram realizados dois testes da estufa. O primeiro consistiu na verificação do funcionamento do sistema de controle da temperatura, cujo resultado é apresentado na Figura 9. Nesta figura, o sinal de controle da resistência pode assumir dois valores: zero, correspondendo ao estado “desligado” da resistência, e um, correspondendo ao estado “ligado” da resistência. Analisando a Figura 9, pode-se concluir que o sistema de controle de temperatura se comportou conforme o esperado, ligando a resistência quando a temperatura era inferior ao valor mínimo pré-estabelecido e desligando-a nos casos onde a temperatura excedeu o valor máximo pré-estabelecido. Ressalta-se que os valores mínimo e máximo de temperatura foram selecionados de forma arbitrária unicamente para verificação do funcionamento do sistema e levando em consideração fatores externos como a temperatura ambiente no momento do ensaio.

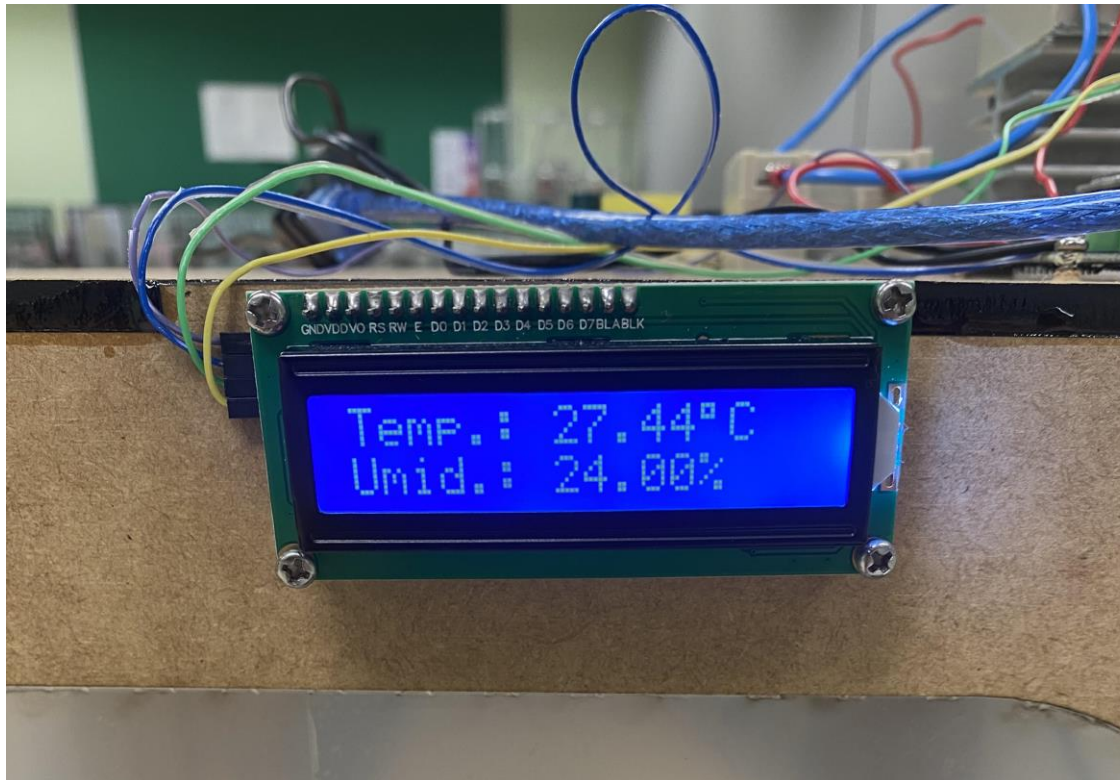
Na sequência, foi verificado o funcionamento do sistema de monitoramento de umidade do solo. Para tanto, foi adicionado um recipiente com terra no interior do protótipo, sendo mostrado na Figura 10 o registro da temperatura e da umidade da terra display LCD. Na sequência, adicionou-se cerca de 100 mililitros de água na terra, com a umidade neste caso sendo registrada em 100%. No gráfico abaixo, foi utilizado valores dos testes de temperatura, obtido pela serial IDE Arduino e gerado o gráfico no Matlab.

Figura 9 – Resultado do controle de temperatura da estufa.



Fonte: o próprio autor (2023).

Figura 10 – Registro da temperatura e umidade do solo no display LCD.



Fonte: o próprio autor (2023).

Ressalta-se que, por falta de maiores informações sobre como aferir o valor verdadeiro do percentual de umidade da terra, foi possível apenas verificar a resposta do sistema quanto ao monitoramento desta grandeza, não sendo possível concluir quanto à acurácia da medição apresentada. Desta forma, seria necessário um aprofundamento do projeto no sentido de se realizar uma calibragem adequada do sistema de medição e monitoramento da umidade para que pudesse ser incluído também um sistema de controle para esta grandeza.

### **Conclusões**

Este trabalho apresentou o projeto e implementação de uma estufa para o cultivo de hortaliças dentro de espaços fechados tais como casas e apartamentos. O protótipo desenvolvido realiza o controle da temperatura interior e o monitoramento da umidade do solo da estufa utilizando uma placa ESP32, mostrando estas grandezas em um display LCD.

De forma geral, pode-se concluir que o protótipo desenvolvido realizou o controle da temperatura de forma satisfatória, mantendo a temperatura no

interior da estufa dentro dos limites pré-estabelecidos. Quanto ao monitoramento da umidade, foi possível demonstrar o funcionamento do sistema, embora estudos mais aprofundados sejam necessários para a determinação da acurácia e exatidão dos resultados obtidos em relação ao valor verdadeiro da umidade do solo.

Como sugestão para a sequência deste trabalho, propõem-se a calibração do sistema de monitoramento da umidade do solo, a implementação de um sistema de controle de luminosidade interna baseado em sensores de luz, além da implementação de uma estratégia de controle em tempo real da temperatura, minimizando a ocorrência de *ripple* em torno dos valores de referência, também a implementação de um sistema de ajuste de níveis de temperatura mínima e máxima e também a implementação de controle da umidade através de um sistema de gotejamento e fazer um sistema supervisorio para ajustes do usuário final com ranges das grandezas diferentes para cada tipo de hortaliça.

## Referências

AZEVEDO JUNIOR, Amber Leite. Sistema De Monitoramento E Climatização De Estufa De Pequeno Porte Em Um Contexto Doméstico. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade De Tecnologia E Ciências Sociais Aplicadas. Brasília, DF. 2016.

ACHOUR, Y. OUAMMI, A. ZEJLI, D. SAYADI, S. "Supervisory Model Predictive Control for Optimal Operation of a Greenhouse Indoor Environment Coping With Food-Energy-Water Nexus," in IEEE Access, vol. 8, pp. 211562-211575, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3037222.

CONTRERAS, C.; BEGOVICH, O. "Automatic Lighting Control and IoT Monitoring on an Indoor-Greenhouse," 2022 IEEE 18th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Mexico City, Mexico, 2022, pp. 1232-1237, doi: 10.1109/CASE49997.2022.9926506.

DA SILVA JUNIOR, Anderson Meneses. Desenvolvimento de um Protótipo para Estufa Agrícola Aplicando o Conceito de Internet das Coisas. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Piauí. Picos, PI. 2017.

ELETROGATE. Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água. 2023a. Disponível em <<https://www.eletrogate.com>>

ELETROGATE. Módulo Real Time Clock RTC Ds1307. 2023b. Disponível em <<https://www.eletrogate.com>>

GUNARATHNE, K. et al., "PID Controlled Autonomous Urban Greenhouse Complex," 2021 10th International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS), Negambo, Sri Lanka, 2021, pp. 440-445, doi: 10.1109/ICIAfS52090.2021.9605945.

LONGO, Augusto Kesting; ABREU, Bruno Sabino. Estufa Automatizada: Controle Automático Para O Cultivo De Hortaliças. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Do Sul De Santa Catarina. Tubarão, SC. 2021.

MAPA. Em 7 anos, triplica o número de produtores orgânicos cadastrados no ministério. 2023. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/em-sete-anos-triplica-o-numero-de-produtores-organicos-cadastrados-no-mapa>>

MAXIM INTEGRATED. Folha de dados do DS18B20. 2019. Disponível em <<https://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/ds18b20.pdf>>.

ORGANIS. Mercado de orgânicos cresce 30% e aponta nova tendência 2023. Disponível em <<https://organis.org.br/imprensa/setor-de-organicos-cresce-30-e-aponta-nova-tendencia/>>

ROBOCORE. Sensor de Umidade de Solo Capacitivo. 2023. Disponível em <<https://www.robocore.net/>>

ZHAO, X. et al., "Parallel Control of Greenhouse Climate With a Transferable Prediction Model," in IEEE Journal of Radio Frequency Identification, vol. 6, pp. 857-861, 2022, doi: 10.1109/JRFID.2022.3204363.

YA-SHAN, H.; QUN, Z.; QIU, W.; YAN, L.; DE-CHENG, W. "Simulation of indoor temperature and humidity control in intelligent greenhouse," 2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), Nangjing, China, 2022, pp. 5042-5047, doi: 10.1109/CIEEC54735.2022.9846713.