

Sistema de controle e monitorização IOT de uma estufa

Control and monitoring system for a greenhouse IOT

Engenharia de Controle e Automação

Victor Inácio de Oliveira (pro14724@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia de Automação e Controle pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Alex Paubel Junger (alexpaubel@hotmail.com)

Doutor em Energia pela Universidade Federal do ABC (UFABC) e professor do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Cuzeiro do Sul (Unicsul)

Bruno Luis Soares de Lima (bruno.lima@mackenzie.br)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Ricardo Janes (ricardo.janes@mackenzie.br)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade São Paulo (USP) e professor do Centro Universitário FEI e da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Rogério Issamu Yamamoto (pro15804@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Alex Lopes de Oliveira (alex.oliveira@mackenzie.br)

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Isabela Melo da Silva (051210023@faculdade.cefsa.edu.br)

Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie.

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024
- ISSN 2525-8729

Submissão: 21 out. 2022 Aceitação: 14 dez. 2023

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 78 - 102

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de controle e monitorização de dados de uma estufa. Para isso, será utilizado um microcontrolador ESP32 e diversos sensores, como temperatura, vazão e luminosidade de modo que seja possível automatizar parte do processo trazendo conforto e segurança aos usuários. Este sistema poderá ser implantado tanto em âmbito residencial como em larga escala, ou seja, ele poderá ser aproveitado para aplicações no agronegócio. Já que o Brasil é um enorme produtor agrícola, essa característica se torna muito relevante. Através dos sensores e controladores foi possível monitorar e controlar o sistema climático da estufa. E através de processo de requisição TCP-IP foi possível verificar quais eram os requisitantes à visualização do sistema; além disso, todos os dados foram armazenados em banco SQL; adicionalmente, os dados em tempo real foram mostrados em ambiente Cayenne, via protocolo MQTT. Isso tudo possibilitou a visualização e monitoramento dos dados da estufa.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Estufa, Agronegócio.

Abstract

The present paper aims to develop a system for controlling and monitoring data from a greenhouse. For this purpose, an ESP32 microcontroller and various sensors, such as temperature, flow, and light sensors, will be used to automate part of the process, bringing comfort and safety to users. This system can be implemented both at a residential level and on a large scale, which means it can be utilized for agribusiness applications. Since Brazil is a large agricultural producer, this becomes very relevant. Through the sensors and controllers, it was possible to monitor and control the greenhouse climate system. Additionally, through the TCP-IP request process, it was possible to verify the users requesting system visualization, and all data was stored in an SQL database. Furthermore, real-time data was displayed in the Cayenne environment via the MQTT protocol. All of this enabled the visualization and monitoring of the greenhouse data.

Keywords: Internet of Things, Greenhouse, Agribusiness.

Introdução

No ano de 2022, a população mundial passou de 7 bilhões de pessoas para 8 bilhões, tendo decorrido 12 anos para que este fato ocorresse. A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que a população levará cerca de 15 anos para alcançar os 9 bilhões (ONU, 2022). Devido a isso, a produção de alimentos se torna cada vez mais importante.

A agricultura é uma das principais atividades praticadas pelo homem, sendo responsável por disponibilizar alimentos para a população; contudo, nações com menor desenvolvimento enfrentam problemas de insegurança alimentar, onde há falta de alimentos para a população, sendo esta situação agravada por efeitos climáticos extremos, conflitos e choques econômicos, como é o caso de países como: Afeganistão, Haiti, Nigéria, Burquina Fasso, Mali, Somália, Sudão do Sul, Sudão e Iêmen, que constam na lista de países com insegurança alimentar da ONU. Em Moçambique, apesar de não estar na lista de países com insegurança alimentar, até março de 2023, foram registrados pela ONU 3,1 milhões de pessoas que sofriam de insegurança alimentar aguda em seu território (ONU, 2023). Devido a isso, a criação de processos seguros e baratos de produção de alimentos ganha cada vez mais importância.

Durante o processo de cultivo de um alimento pode ocorrer uma alteração da qualidade e da quantidade do que é colhido nas lavouras, o que ocasiona uma alteração do valor das safras vendidas, afetando diretamente o preço cobrado aos consumidores. Quando a safra de um produto é ruim, ou quando ocorre algo que limite a quantidade desse produto nos mercados, o consumidor necessita gastar mais de acordo com a variação sofrida. Um exemplo dessas variações é o preço de produtos lácteos que em junho de 2023 tiveram uma queda de 3,2% em seus preços em relação a abril do mesmo ano e o preço do açúcar, que teve um aumento mensal consecutivo de 5,5% em seus preços em relação a abril, chegando a um valor 31% maior do que o mesmo período no ano de 2022 (ONU, 2023); sendo assim, o uso da tecnologia aplicada à produção de alimentos é muito importante.

A tecnologia denominada *Internet of Things* (IoT) pode ser utilizada para o monitoramento remoto, que pode ser utilizado para administrar o desempenho das máquinas, em tempo real e otimizar o consumo de combustível dos equipamentos, obtendo-se assim um aumento na disponibilidade dos equipamentos e um ganho na eficiência (Almeida, 2019).

Entre os oito eixos definidos no Plano Nacional de IoT, há um deles que define o uso eficiente de recursos naturais e insumos. Nesse eixo, são apresentadas aplicações que, caso sejam implementadas, proporcionarão um alto impacto à eficiência no plantio e na colheita. Algumas dessas aplicações são as que geram alertas sobre o potencial de chuvas e pragas, como o emprego de monitoramento de clima por sensores ou miniestações; práticas que apoiem a tomada de decisão na colheita, no plantio, no momento em que se deve retornar ao campo ou na quantidade de irrigação necessária. Outro tipo de solução importante é a utilização do monitoramento do solo para assim se aumentar sua fertilidade do solo e a produção (Almeida, 2019).

Para se incrementar uma rede de monitoramento remoto para realizar análises dos dados colhidos dos sensores dispostos numa estufa, exige-se um certo nível de infraestrutura, conhecimento e investimentos financeiros que pode inviabilizar o projeto. Portanto, realizar a implementação de um sistema simples e de baixo custo seria ideal para se atingir esse objetivo. Portanto, espera-se desenvolver um sistema de monitoramento via internet de dados extraídos de sensores e atuadores, presentes na estufa, que serão enviados para um servidor. Propõe-se integrar o microcontrolador ESP32 com três sensores DHT11, um sensor mq9, um sensor LDR, dois sensores sku:sen0193, com dois coolers e uma bomba d'água, obtendo-se os dados de umidade e temperatura do ambiente, umidade do solo, nível de gases nocivos no ambiente e quantidade de luz absorvida pela planta e os enviando para o servidor on-line. A partir desse envio ao servidor, será possível monitorar em tempo real a produção identificando-se possíveis falhas e melhorias.

Revisão de Literatura

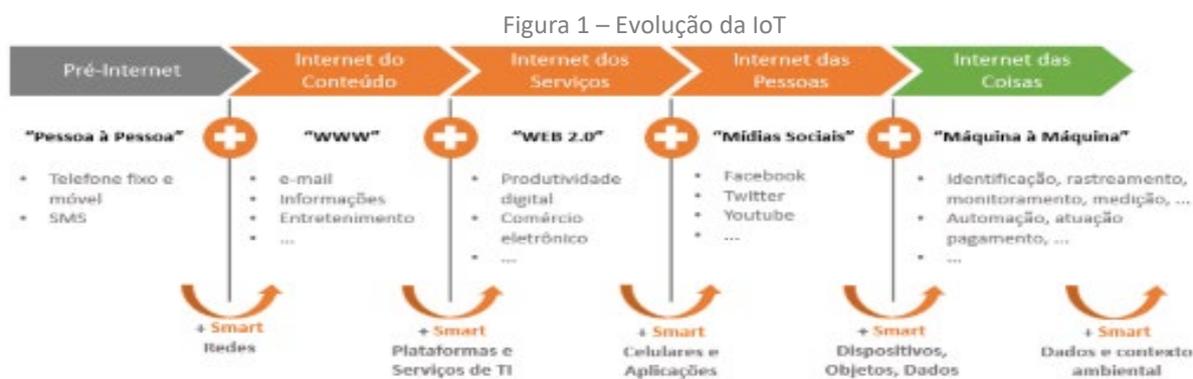
Torna-se necessário o entendimento de todas as partes do processo para se realizar o estudo de caso. Por isso, neste tópico serão analisados os conceitos de IoT, IoT no agronegócio, microcontroladores, tecnologias da comunicação, atuadores e sensores utilizados no projeto.

IOT

A primeira utilização do termo *Internet of Things* (IoT) foi realizada por Kevin Ashton, pesquisador britânico, no ano de 1999. Este termo ganhou fama após ser realizada uma apresentação para a *Procter & Gamble* (P & G), na qual foi integrado o uso de tecnologias de endereçamento de dados e

sinais com a internet. A proposta apresentada para a P&G era que, ao utilizar a tecnologia *Radio Frequency Identification* (RFI), seria alcançada uma melhora do fluxo dos produtos e informações sem ter ocorrido a interferência direta do homem (Costa et al., 2018).

A IoT passou por várias evoluções tecnológicas que possibilitaram a interligação e conexão dos dispositivos físicos, de forma inteligente, à internet. Estes dispositivos são, normalmente, aparelhos eletrônicos constituídos por circuitos integrados que possibilitam o envio de dados por meio de uma rede (Leite, 2019). Na Figura 1, pode ser vista a evolução sofrida pela IoT.



Fonte: Leite (2019).

As estimativas apontam que a economia mundial será impactada em 11 trilhões de dólares pelos sistemas IoT até o ano de 2025, contando com o fato de que os objetos conectados à internet, como arte, roupa, comida, móveis e papéis aumentará, chegando a aproximadamente 50,1 bilhões de objetos conectados no ano mencionado (Leite, 2019).

IOT no agronegócio

Para que ocorra uma expansão no agronegócio brasileiro oriunda da implantação da tecnologia IoT, é necessário que ocorra um aprimoramento da infraestrutura e dos sistemas de suporte à produção, além da melhora na disponibilidade da rede de internet sem fio.

A utilização de sistemas de IoT no agronegócio traz diversas vantagens, como a redução na utilização de água, facilidade na aplicação de agrotóxicos e produtos químicos. tendo como resultado um maior controle das pragas e doenças (Nascimento, 2022).

Microcontrolador

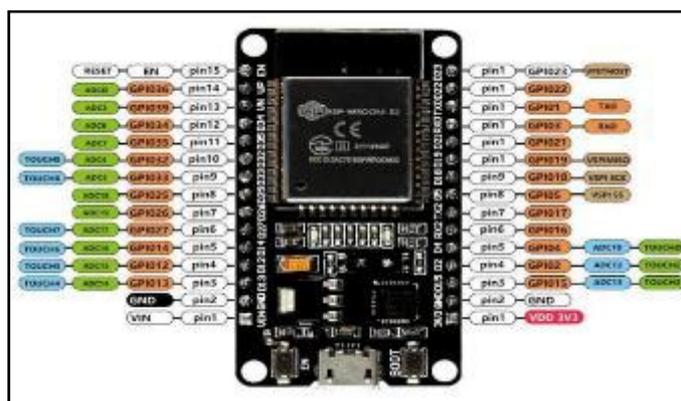
O microcontrolador possui as partes básicas de um microcomputador, como microprocessador, memórias não-voláteis e voláteis e portas de entrada e saída. É um circuito semicondutor em forma de circuito integrado que, normalmente, é limitado na quantidade de memória, sendo utilizado em aplicações que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados, como automação residencial, automação predial, automação industrial e automação embarcada (Ruano, 2019).

O ambiente Arduíno UNO possui um baixo custo e fácil configuração, sendo muito utilizado em prototipagens. Timmis (2011) informa que o Arduíno é um microcontrolador individualizado que possui um ambiente de desenvolvimento integrado - *Integrated Development Environment (IDE)* - onde é possível escrever o seu próprio software, realizando a programação em uma linguagem baseada em C++, sem a necessidade da utilização de um *firmware*. Por isso, Oliveira (2017, p.97) afirma que “A maior vantagem desse processo é garantir maior poder de processamento, visto que o processador ficará totalmente dedicado ao programa.”

Para controlar outros microcontroladores pode-se utilizar o Arduíno, como é o caso do módulo ESP32, que possibilita a comunicação via Bluetooth e WiFi do sistema com um servidor, por exemplo, podendo-se enviar dados para a monitorização. Por isso, o módulo ESP32 pode ser utilizado para aplicações de irrigação inteligente, devido à facilidade de configuração, manutenção e baixo custo.

O módulo ESP32 possui um microprocessador Xtensa Dual-Core 32-bit LX6, uma memória Flash programável de 4 MB, uma memória RAM de 520 KBytes, uma memória ROM de 448 KBytes, um *clock* que alcança uma frequência de até 240 MHz, 25 pinos digitais, que podem ser vistos na Figura 5, um módulo Wireless 802.11, o qual utiliza uma frequência de 2,4 GHz, que é responsável pelo acesso da placa à internet, um módulo Bluetooth Low Energy padrão 4.2; a tensão de alimentação pode ser de 4,5 a 9 V (Robocore, 2022).

Figura 2 – Descrição da pinagem de uma ESP32.



Fonte: <https://curtlink.com/qVsrCIXVa>.

Tecnologias da Comunicação

A tecnologia da comunicação pode ser definida como um método utilizado para realizar a comunicação entre os dispositivos presentes em uma rede IoT com outros dispositivos conectados à internet. Alguns exemplos de tecnologias de comunicação são: Rede Ethernet; WiFi; ZigBee; Bluetooth Low Energy 3G/4G; LoRaWAN; e SigFox. Para a melhor compreensão de todos esses elementos, será apresentado um pequeno resumo de cada tecnologia a seguir (Santos, 2016).

O protocolo Ethernet é um tipo de comunicação realizada com fio. Por ser um meio simples, de fácil adaptação e acesso e custos mais acessíveis, encontra-se presente na maioria das redes locais resistentes atualmente. Este padrão foi oficializado em 1983 pelo IEEE (IEEE 802.3), sendo utilizado atualmente com dois tipos de cabos que podem ser implementados: par trançado, tendo como distância máxima 100 metros sem a utilização de repetidores e podendo atingir taxas de até 1 Gbps e fibra óptica, limitada a 2000 metros e com alcance de taxas de até 10 Gbps (Vieira, 2022).

A tecnologia WiFi foi lançada em 1997, tornando-se um grande sucesso atualmente e estando presente em todos os lugares, tanto em lojas comerciais, residências e escritórios como em espaços públicos das cidades. A regularização do WiFi se deu por meio da norma IEEE 802.11, que define um agrupamento de padrões de codificação e transmissão, tendo como última atualização até o momento a versão IEEE 802.11bi, sendo que a versão IEEE 802.11ac prevê que as taxas de comunicação possam ser de 600 Mbps ou 1300 Mbps (Santos, 2016).

Para a camada de enlace há o padrão IEEE 802.15.4 que a regulariza, sendo que o ZigBee se baseia nesse padrão. Conta com um consumo energético e custo reduzido por causa da sua baixa vazão. Normalmente o ZigBee opera na faixa de frequência ISM (2,4 GHz), sendo capaz de operar em outras duas faixas de frequências, 868 MHz e 915 MHz, tendo como taxa máxima 250 Kbps, mesmo que na prática as taxas alcançadas sejam inferiores (Jesus et al., 2021).

A Ericsson propôs a utilização do protocolo Bluetooth Low Energy para substituir a comunicação serial RS-232. O protocolo Bluetooth se divide em duas categorias: o Bluetooth clássico e o Bluetooth Low Energy (BLE), sendo que o clássico possui mais duas subdivisões, Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR), que é a subdivisão que engloba as versões 2.0 ou anteriores, enquanto o Bluetooth High Speed (HS) engloba a versão 3.0 e o BLE a versão 4.0 ou superior, posto que a versão BLE foi construída para dispositivos com baixo consumo de energia, enquanto as demais versões são focadas em aumentar a taxa de comunicação. Atualmente o Bluetooth se encontra na versão 5.3 (Bluetooth, 2022), lançada em 2021, que traz uma melhor capacidade de resposta, possui uma confiabilidade melhor e proporciona mais economia de energia para os dispositivos (Jesus et al., 2021).

É possível realizar a aplicação dos padrões de telefonia celular 3G/4G às aplicações IoT. Gerando um consumo energético muito alto, em relação a outras tecnologias, o padrão 3G/4G pode ser utilizado por projetos IoT quando estes abrangem grandes distâncias. As normas brasileiras especificam que as frequências que devem ser utilizadas para o protocolo 3G são 1900 MHz e 2100 MHz, estando na faixa UMTS, à medida que o 4G (LTE) utiliza a frequência de 2500 MHz. A diferença entre a taxa de comunicação entre os dois padrões é visivelmente grande, dado que o padrão 3G alcança 1 Mbps e o padrão 4G alcança 10 Mbps (Seunghwan, 2020).

O protocolo Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) foi planejado para que dispositivos operados por bateria e possuindo a capacidade de comunicação sem fio, pudessem fazer parte de redes de longa distância, podendo ser uma rede global, nacional ou regional, o protocolo LoRaWAN é responsável por criar as redes de longo alcance. O padrão LoRaWAN fornece suporte ao protocolo IPv6; este suporte é feito a partir do protocolo denominado 6LoWPAN, funciona sobre a topologia estrela, possui uma comunicação segura e bidirecional, tratamento e mobilidade de serviços de localização, incorporando assim os requisitos básicos presentes na IoT. A taxa de comunicação do sistema pode variar entre 300 bps e 50Kbps. O protocolo LoRaWAN atua na faixa ISM e utiliza

frequências em MHz, sendo as mais usadas: 109 MHz, 433 Mhz, 866 MHz e 915 MHz. Por utilizar tais frequências, as ondas transmitidas penetram e traspassam grandes estruturas e superfícies, com distâncias de 2 km a 5 km no meio urbano, ou até 45 km no meio rural. O Maximum Transmit Unit (MTU) utilizado pelo padrão LoRaWAN é de 256 bytes (Jesus et al., 2021).

A tecnologia Ultra Narrow Band (UNB) é utilizada pelo protocolo SigFox. Este protocolo foi projetado para ser usada na transmissão de pequenas taxas de transferência de dados. Dispõe de um suporte a diversos dispositivos, a SigFox atua como uma operadora para IoT. Para que os usuários consigam implementar sistemas de IoT com mais facilidade, a SigFox possui como sua maior incumbência abstrair as dificuldades de conexão e prover uma API. O SigFox pode abranger um raio de cobertura de 3 km a 10 km nas zonas urbanas e de 30 km a 50 km em zonas rurais, dispõe de uma taxa de comunicação que pode variar entre 10 bps a 1000 bps e com o MTU de 96 bytes. A faixa de frequência em que o SigFox atua é de 900 MHz (Santos, 2016).

Protocolo MQTT

O MQTT é um protocolo de mensagens que oferece suporte a mensagens entre dispositivos para a nuvem e da nuvem para os dispositivos, sendo baseado em conjunto de regras ou padrões. O protocolo SSL é utilizado para proteger os dados sigilosos na comunicação MQTT.

O protocolo MQTT, para que não ocorra a conversa direta entre o destinatário e o remetente, utiliza um padrão de publicação/assinatura, em que um terceiro componente, denominado agente de mensagens, realiza a comunicação entre publicadores (remetente) e assinantes (destinatário). O agente é responsável por filtrar e distribuir todas as mensagens recebidas dos publicadores para os assinantes corretamente (AWS, 2019).

Sensores

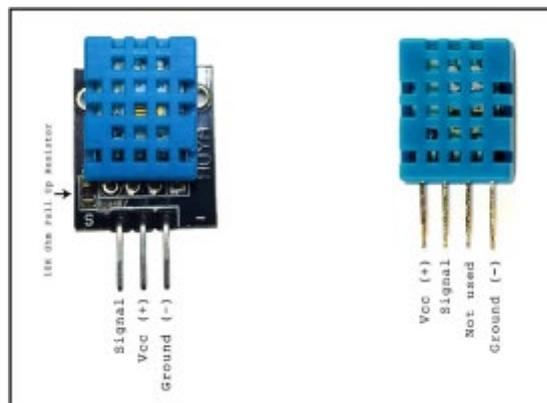
DHT11

O sensor DHT11 é utilizado para se realizar medições de temperatura e umidade, tendo como resposta de saída um sinal digital. Possui um microcontrolador de 8 bits e um elemento resistivo do tipo NTC; este resistor é responsável por realizar a medição da temperatura. Este aparelho mede, a

cada 2 segundos, a temperatura na faixa de 0 a 50°C, e a umidade é medida em porcentagem, sendo que a sua faixa de medição varia de 20 a 80%.

É um sensor de baixo custo em que a tensão de alimentação pode ser de 3 a 5 V, possui uma corrente durante as medições dos dados de 2,5 mA, com precisão de 5% para as medições de umidade e pode variar 2°C para as medições de temperatura. Dispõe de 15,5 mm de altura, 12 mm de largura e 5,5 mm de profundidade e quatro pinos sendo que o primeiro da esquerda para a direita é onde deve se conectar a alimentação (Vcc); o segundo é por onde será transmitida a informação (Signal); o terceiro pino não será utilizado e o último é ligado ao terra (Ground) (Robocore, 2022); a disposição dos pinos pode ser visualizada na Figura .

Figura 3 – Descrição da pinagem de um sensor DHT11.

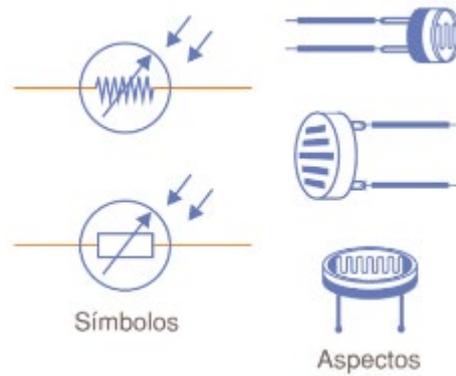


Fonte: <https://capsistema.com.br/index.php/2020/03/08/guia-de-como-instalar-o-sensor-de-umidade-dht11-em-um-arduino/>

LDR

O sensor LDR é o fotodetector mais simples existente, também chamado de célula ou dispositivo de fotocondutividade. A fotocondutividade é um fenômeno que ocorre quando a intensidade de luz sobre um material é alterada, ocasionando a variação da condutividade do material (Ruano, 2019). A Figura 3 mostra as simbologias para representar o LDR e alguns dos aspectos físicos do LDR.

Figura 3 – Simbologia e aspecto de um LDR.



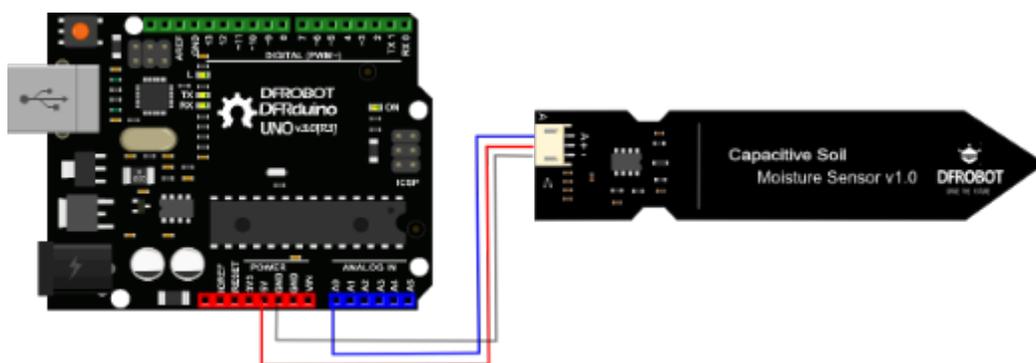
Fonte: Santos (2012).

O LDR é um resistor dependente da luz, agindo em função da quantidade de luz incidente na sua superfície. O Arsenieto de Gálio (GaAs) compõe a superfície sensível do LDR; este material altera a sua resistência de acordo com a incidência de luz; isto ocorre porque as partículas de luz liberam elétrons do material, causando a alteração da sua resistividade. Como estas são grandezas inversamente proporcionais, quanto menor a resistência existente no LDR, maior é a liberação de elétrons (Santos, 2012).

Umidade do solo capacitivo

O SKU:SEN0193 é um sensor de umidade do solo capacitivo de baixo custo facilmente adquirido no mercado, com dimensões de 9,8 x 2,3 cm. Ele pode ser facilmente integrado a microcontroladores de código aberto, como Arduino, ESP32 e outros. O *datasheet* do fabricante informa que o sensor opera na faixa de tensão entre 3,3 e 5,0 V, com tensão de saída entre 0,0 e 3,0 V, corrente de operação de 5 mA e peso de 15 g (Pereira, 2022). A Figura 4 demonstra como é realizada a conexão do sensor SKU:SEN093 com uma placa Arduíno UNO.

Figura 4 – Conexão entre uma placa Arduíno e um sensor sku:sen093



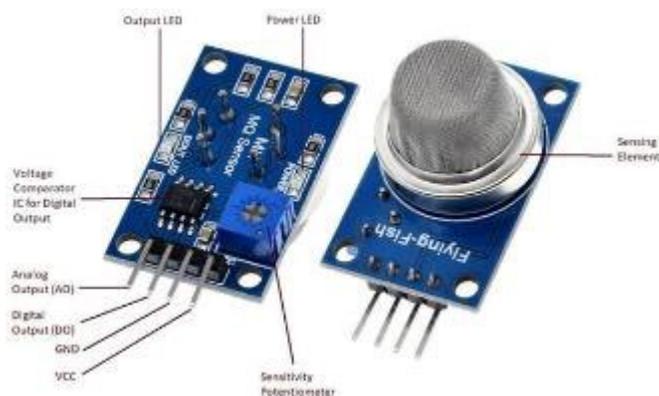
Fonte: https://wiki.dfrobot.com/Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU_SEN0193.

Foi realizada a caracterização elétrica do sensor SKU:SEN0193 e observou-se que a capacitância do sensor no ar era da ordem de 6,5 pF, enquanto a frequência do sensor variava de 260 Hz em um solo úmido a 520 Hz em um solo com baixa umidade (Pereira, 2022).

MQ-9

O MQ-9 é um sensor que possui a capacidade de verificar o nível de determinados gases existentes no ambiente; seu encapsulamento possui 6 pinos, dos quais 4 são utilizados para se obter sinais, e os outros 2 para fornecer corrente de aquecimento. Ele funciona com tensões entre 5V e 12V CA ou CC e suas vantagens são: boa sensibilidade a CO/gás combustível; alta sensibilidade a metano, propano e CO; longa vida útil e baixo custo; e possui um circuito de acionamento simples. Uma vez alimentado, a saída do sensor normalmente está em nível HIGH, mas fica em nível LOW quando o gás é detectado (Falohun, 2016). Na Figura 5, pode-se ver o sensor MQ-9 e a descrição dos seus componentes, como a descrição de cada pino e o seu potenciômetro de sensibilidade.

Figura 5 – Sensor MQ-9 e a descrição de seus componentes



Fonte: <https://quartzcomponents.com/products/mq-9-gas-sensor-module-for-carbon-monoxide-methane-and-lpg>.

Atuadores

Cooler

Para este projeto foram utilizadas duas ventoinhas alimentadas por uma tensão 12 V DC, sendo uma de 8cm x 8cm x 2,5cm e a outra de 6cm x 6cm x 2,5cm. Na Figura 6, é possível visualizar uma ventoinha.

Figura 6 – Ventoinha



Fonte: https://www.jelcoolers.com.br/MLB-1067774695-ventilador-cooler-ventoinha-adda-120x120x38-24v-rol-3000rpm-_JM.

Bomba d'água

Neste projeto será utilizada uma minibomba d'água que funciona com tensão de 3 a 6 V, com peso de 26g e 33mm de altura, sendo esta uma bomba d'água que funciona submersa na água. Na Figura 7, pode-se ver uma minibomba d'água.

Figura 7 – Minibomba d'água



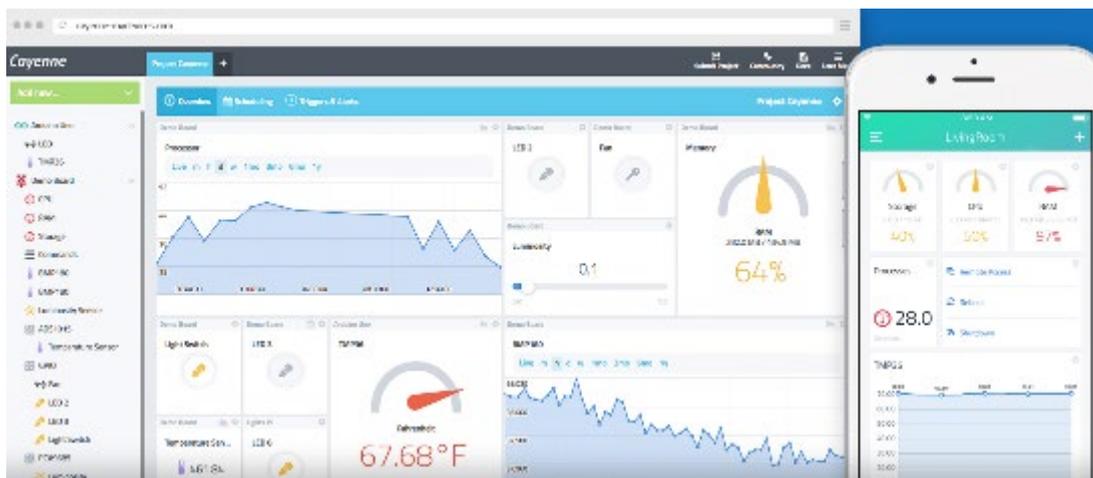
Fonte: <https://www.electronicabyp.com.ar/producto/mini-bomba-de-agua-sumergible-2l-m-3v-5v-dc-arduino/>

Cayenne

Na plataforma Cayenne é possível criar um painel personalizado com *widgets* de arrastar e soltar para visualizar, gerenciar e controlar os dispositivos conectados. Os *widgets* são utilizados para visualizar os dados, status e ações dos dispositivos. Cada dispositivo, sensor e atuador adicionado ao Cayenne possui um ou mais *widgets* associados a eles, dependendo dos recursos de hardware.

Os projetos realizados na plataforma Cayenne podem ser acessados a partir de uma página da web, ao acessar sua conta Cayenne ou através de um aplicativo para celular. É possível conectar os dispositivos ao Cayenne para se realizar o envio dos dados via MQTT, sendo possível também conectar dispositivos para efetuar a sua transmissão dos dados através da rede LoRaWan (Cayenne, 2023).

Figura 8 – Imagem do Cayenne



Fonte: Cayenne (2023).

O Cayenne suporta vários tipos de dados, incluindo os de proximidade, temperatura, luminosidade e pressão. Os tipos de dados e a unidade de medida podem ser configurados no painel ou definidos diretamente ao enviar os dados (Cayenne, 2023).

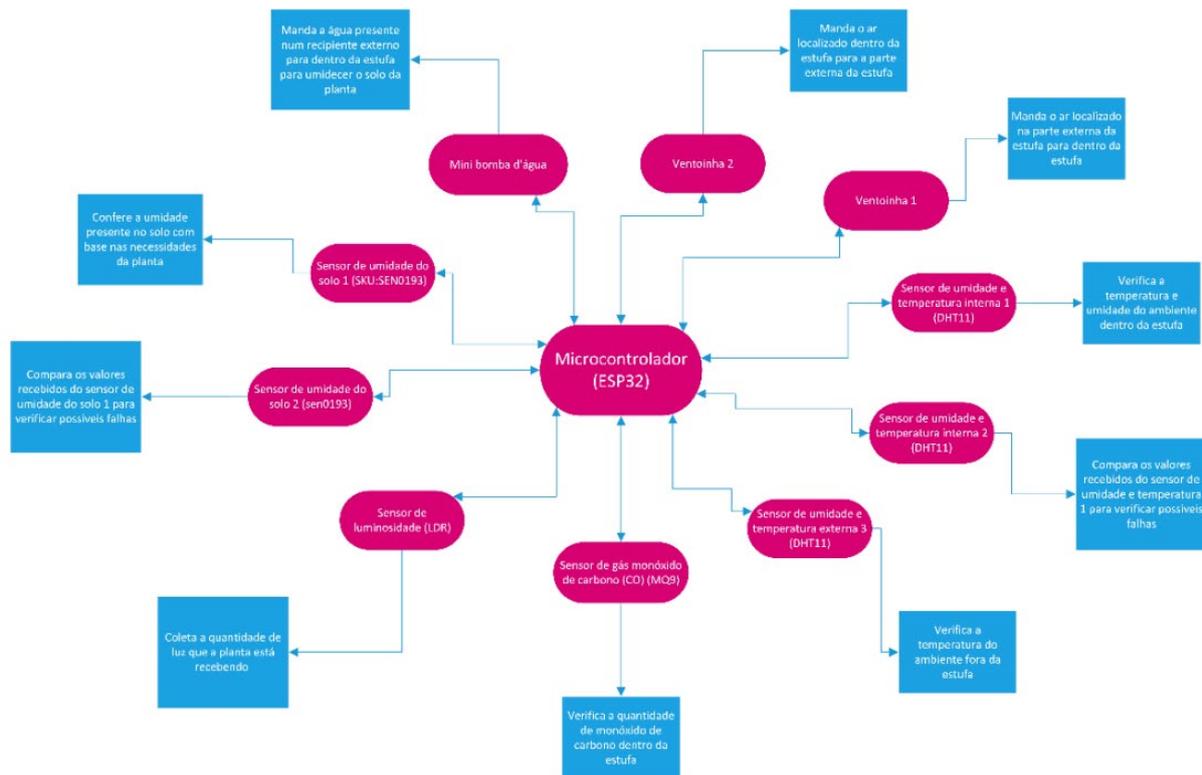
Metodologia

Para a realização do estudo de caso de controle e monitoramento remoto de uma estufa IoT, inicialmente foi realizado um datagrama esquemático informando a função de cada dispositivo presente. Na Figura 9, é possível visualizar o datagrama com o funcionamento da estufa.

Neste projeto, os sensores DHT11 serão responsáveis por coletar os dados de temperatura e umidade do ambiente dentro da estufa e comparar com os dados do ambiente fora da estufa. O sensor MQ-9 verifica constantemente o nível de gases nocivos no local para informar, caso ocorra um incêndio, e ativar um led na própria ESP, sinalizando que o sistema de água foi acionado para apagar o fogo. Os sensores de umidade de solo são responsáveis por verificar se a planta necessita de mais água, ou se ela está com mais água do que o necessário. O LDR capta a quantidade de

luminosidade que a planta recebe e armazena no banco de dados para ser realizada a conferência se a planta está recebendo luz suficiente. As ventoinhas são responsáveis por resfriar a estufa, caso ela atinja uma temperatura acima do recomendado para a planta e a bomba d'água umedecerá a planta quando ela necessitar.

Figura 9 – Datagrama com a definição do funcionamento dos sensores



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Após ser realizado a coleta dos dados, eles são enviados para o banco de dados MySQL, onde poder-se-á visualizar todo o histórico de dados da estufa, e para a página do Cayenne, onde será possível acompanhar a evolução dos dados por interfaces gráficas e interagir com os atuadores, podendo ligar ou desligar a bomba e a ventoinha.

Para a criação do banco de dados foram utilizadas as *queries* presentes dentro do sistema MySQL Workbench. Na Figura 10, há um exemplo da estruturação da tabela criada no SQL.

Figura 10 – Código presente na *query* para a confecção do banco de dados

```
# Criação da tabela dht11:
CREATE TABLE `estufa_iot`.`dht11` (
  `id_dht11` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  PRIMARY KEY (`id_dht11`));

ALTER TABLE `estufa_iot`.`dht11`
ADD COLUMN `umidadeInterno1` FLOAT NULL AFTER `id_dht11`,
ADD COLUMN `temperaturaInterno1` FLOAT NULL AFTER `umidadeInterno1`,
ADD COLUMN `umidadeInterno2` FLOAT NULL AFTER `temperaturaInterno1`,
ADD COLUMN `temperaturaInterno2` FLOAT NULL AFTER `umidadeInterno2`,
ADD COLUMN `umidadeExterno3` FLOAT NULL AFTER `temperaturaInterno2`,
ADD COLUMN `temperaturaExterno3` FLOAT NULL AFTER `umidadeExterno3`,
ADD COLUMN `coolers` VARCHAR(45) NULL AFTER `temperaturaExterno3`;

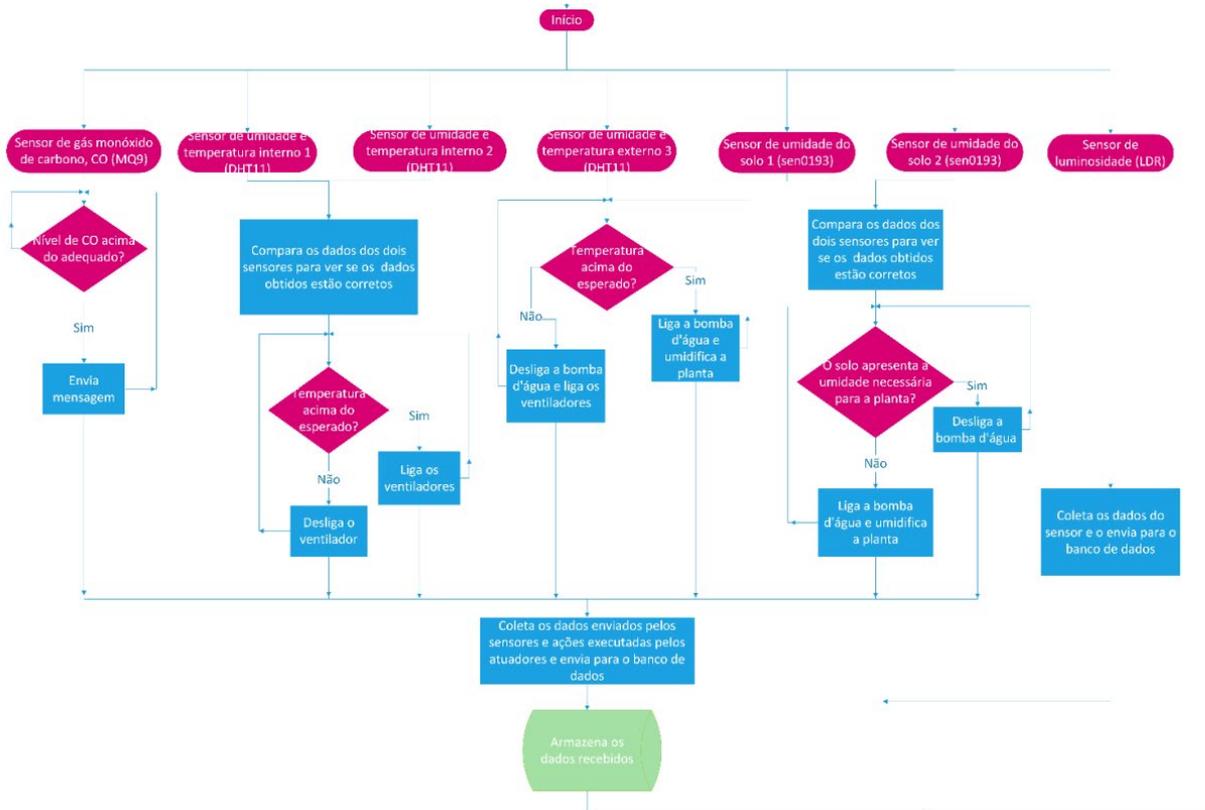
# Criação da tabela mq9:
CREATE TABLE `estufa_iot`.`mq9` (
  `id_mq9` INT NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  PRIMARY KEY (`id_mq9`));
```

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para se obter uma maior segurança relacionada aos dados enviados pela ESP32, acrescentou-se ao código um trecho responsável por realizar a verificação da porta e do endereço IP para o qual os dados estão sendo enviados, permitindo assim que sejam visualizados caso haja uma invasão na rede e caso esteja ocorrendo um ataque *Man in The Middle* (MITM), em que um agente malicioso possa interferir na comunicação de dois dispositivos; portanto, um computador estará recebendo os dados de um dispositivo IoT, podendo assim, receber todo o tráfego que está ocorrendo entre esses dispositivos.

Para o melhor entendimento do projeto foi desenvolvido um fluxograma que demonstra o sistema de lógica de decisão utilizado na estufa. Na Figura 11 é mostrado o fluxograma com o funcionamento lógico da estufa.

Figura 11 – Controle da estufa IoT

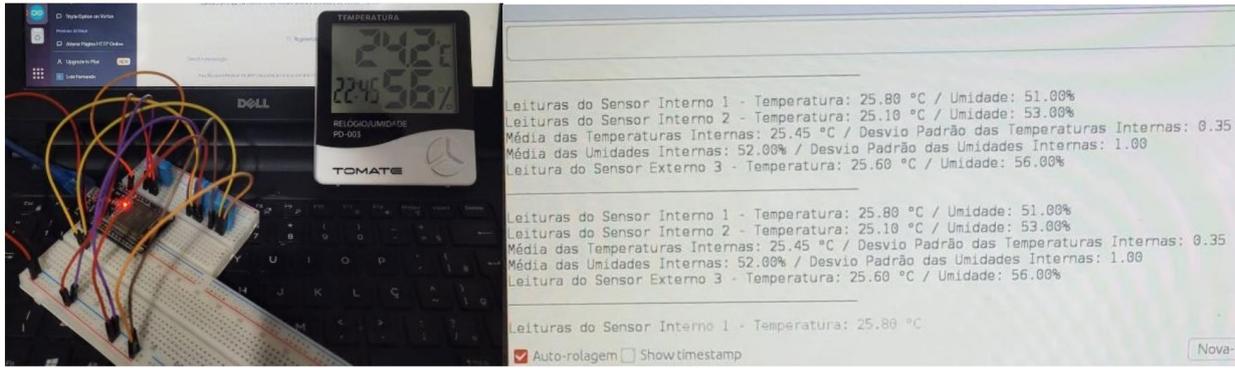


Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para facilitar a visualização das imagens do datagrama e do fluxograma, como não possuem uma boa definição neste documento, o pdf com os arquivos foi disponibilizado na nuvem pelo link https://drive.google.com/file/d/111MP6_vdF753evnawrPqTNNttrAfdW5a/view?usp=sharing. Após a confecção do fluxograma e do datagrama, foram realizados os testes individuais de cada sensor, sendo os sensores idênticos testados em conjunto.

Os sensores DHT11 foram programados para que fosse realizada a verificação do funcionamento de cada sensor e se, caso um deles, dois deles, ou todos os sensores não estivessem funcionando fosse mostrada uma mensagem de erro, que informa qual é o sensor com problema e possam ser exibidos os dados coletados pelos outros sensores. Os DHT11 também foram programados para, após serem coletados os dados, seja comparado o nível da temperatura interna da estufa com a temperatura máxima requerida e, caso o nível da temperatura esteja maior do que o desejado, que seja realizada a ligação das ventoinhas para arejarem a estufa. Para a calibração dos sensores foi utilizado um termo-higrômetro. Na Figura 12, vê-se o funcionamento dos sensores DHT11 com o termo-higrômetro ao lado.

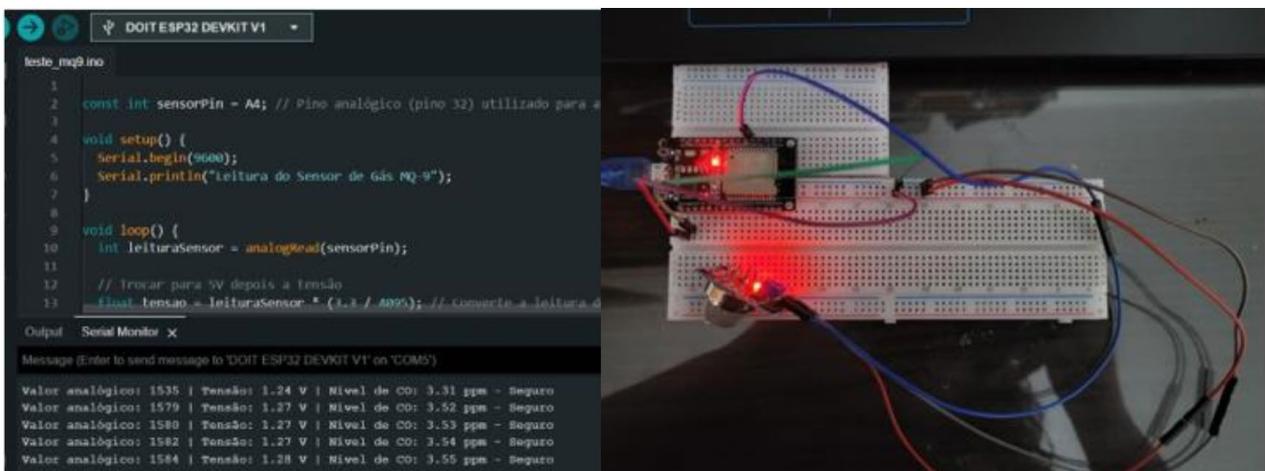
Figura 12 – Funcionamento dos sensores DHT11



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Foi realizada a medição do sensor MQ 9, sendo que o código mostra a tensão que está saindo do sensor, a sua conversão em partículas por milhão (ppm) e se o ambiente está seguro ou não com essa concentração de partículas nocivas. A Figura 13 mostra o funcionamento do teste do sensor MQ-9.

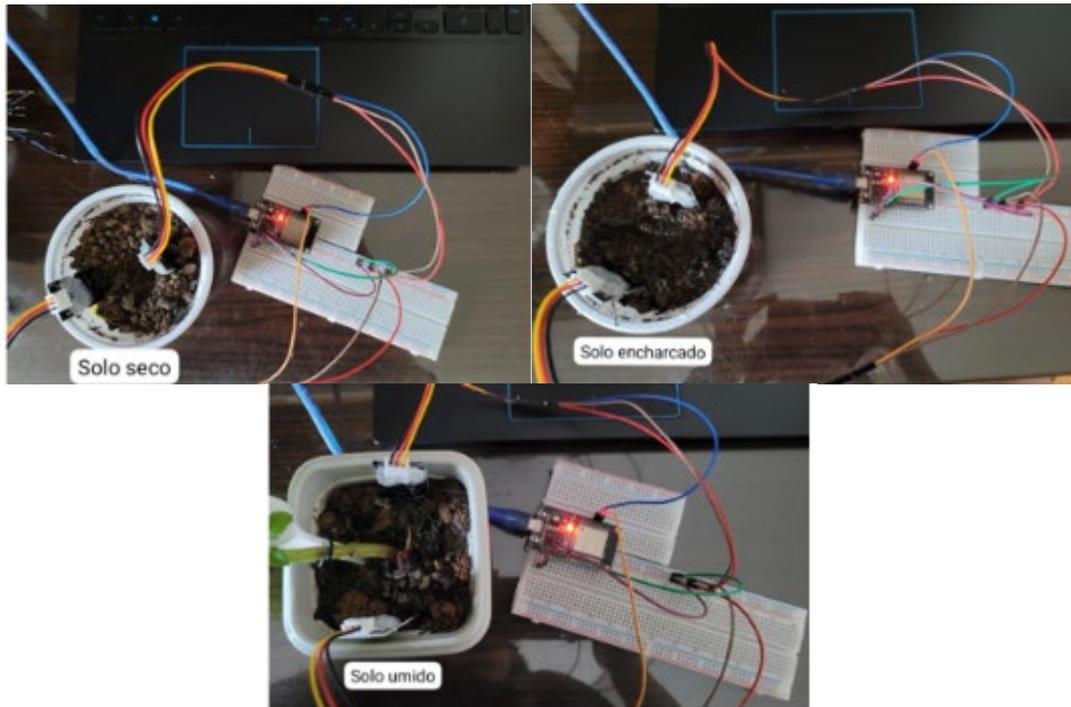
Figura 13 – Funcionamento do sensor MQ-9



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para a calibração do sensor de umidade de solo foi realizado teste para verificar a tensão fornecida pelos sensores com o solo seco, úmido e encharcado de água. Na Figura 14, são mostrados os testes realizados com o sensor de umidade do solo.

Figura 14 – Testes realizados com o sensor de umidade do solo



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para se aprofundar no sistema elaborado, a seguir apresenta-se uma breve descrição das principais bibliotecas utilizadas na confecção do código em C++ na plataforma Arduino.

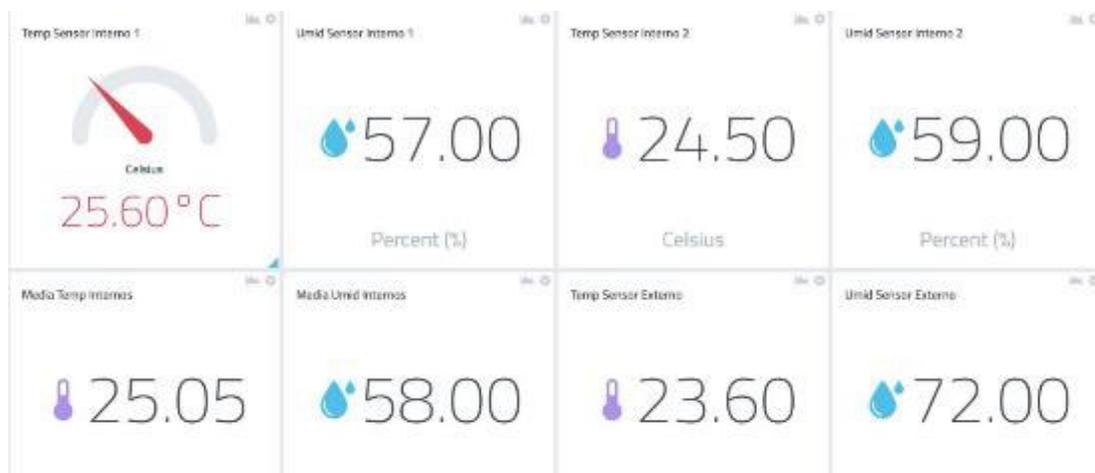
- AsyncTCP.h: é uma biblioteca que fornece uma implementação assíncrona do protocolo TCP para o ESP32. Isso permite que o ESP32 lide com várias conexões TCP de forma assíncrona e eficiente.
- ESPAsyncWebServer.h: é uma biblioteca que permite criar um servidor da Web assíncrono no ESP32. Ele fornece funcionalidades para lidar com solicitações HTTP e enviar respostas para os clientes.
- MySQL_Connection.h: é uma biblioteca que permite a conexão do ESP32 a um servidor MySQL para realizar operações de banco de dados relacionadas.
- MySQL_Cursor.h: é uma biblioteca que fornece um cursor para executar consultas e manipular resultados de consultas em um banco de dados MySQL usando o ESP32.
- DHT.h: esta biblioteca é usada para trabalhar com sensores DHT (umidade e temperatura) no ESP32. Ela fornece funções que permitem a leitura dos valores de umidade e temperatura do sensor DHT conectado ao ESP32.
- Wire.h: é uma biblioteca usada para comunicação I2C (Inter-Integrated Circuit). Ela permite que o ESP32 se comunique com outros dispositivos usando o protocolo I2C.

- CayenneMQTTESP32.h: é uma biblioteca utilizada para a integração do ESP32 com a plataforma de IoT Cayenne MQTT. Ela facilita o envio de dados do ESP32 para a plataforma Cayenne e permite o controle remoto do dispositivo.

Resultados e discussões

Os dados enviados ao servidor Cayenne puderam ser observados gráficamente em tempo real, vide Figura 15, e também foram exportados para um banco de dados MySQL local, Figura 16 e Figura 17.

Figura 15 – Gráficos apresentados no Cayenne



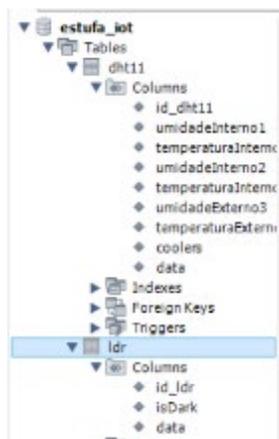
Fonte: Autor.

Figura 16 – Tabela de banco e tabelas criadas no SQL



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Figura 17 – Colunas existentes dentro da tabela dht11 e ldr



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

O circuito funcionou bem ao se conectar as ventoinhas com a bomba para serem ativadas de acordo com a umidade e a temperatura apresentadas, conforme pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 – Funcionamento das ventoinhas e da bomba em conjunto com os DHT11



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Após inserir no código os comandos para se verificar o IP e a porta do dispositivo que está recebendo os dados enviados pela ESP, foi possível visualizar o trecho da requisição HTTP que fornece essas informações, como pode ser verificado na Figura 19.

Figura 19 – IP e Porta do cliente que está recebendo os dados da ESP32

```
Nova requisição:  
Método: GET  
URL: /  
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/114.0.0.0 Safari/537.36  
Corpo:  
Endereço IP do cliente: 192.168.1.10  
Porta do cliente: 59520
```

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A parte estrutural da estufa foi desenhada no AutoCad Lite, utilizando a unidade de medida em milímetros. O desenho foi passado para uma cortadora a laser, que cortou peças de acrílico de 30 mm, que foram agregadas com cola de silicone, obtendo-se a estrutura mostrada na Figura 20, onde pode-se ver que na lateral de frente para a câmera encontra-se o buraco para a passagem da mangueira d'água; à esquerda, encontra-se o espaço para a ventoinha de 6 cm com um furo na parte de baixo para a conexão da ESP32. No lado seguinte estão localizados os furos para a conexão da ventoinha de 8 cm.

Figura 20 – Estrutura da estufa



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Após conectar todos os sensores à estrutura da estufa, ela ficou como apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Estufa IoT montada



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Considerações finais

É possível realizar um sistema visando o controle e monitorização dos dados de uma estufa tanto em âmbito residencial como em larga escala.

O sistema construído, além de permitir a visualização em tempo real, com até 20 indicadores obtidos com o aplicativo Cayenne gratuitamente, possibilita o controle manual da estufa, garantindo não só uma forma automatizada, como também um modo prático de se realizar o processo confortavelmente. Uma vez montado, pode-se realizar o procedimento a partir de qualquer lugar do mundo.

Como forma de ministrar os dados de maneira que, além de visualizados também fossem armazenados de forma segura, o banco de dados feito em SQL trouxe uma grande facilidade, visto que sua arquitetura permite trabalhar com grande volume de dados e de forma gratuita.

É possível afirmar que é um sistema de baixo custo, já que utiliza elementos de baixo custo e plataformas gratuitas.

Por fim, é imprescindível declarar que o sistema de monitorização do protocolo TCP-IP entre ESP e cliente oferece uma segurança maior, principalmente para a área do agronegócio, visto que vazamento de dados é algo preocupante entre quaisquer usuários, principalmente aqueles que trabalham com grande volume de dados.

Referências

- ALMEIDA, Rafael Chiaradia. **Internet das Coisas e as Agtechs no Brasil**. 2019. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/14165>. Acesso em: 06 nov. 2022.
- AWS. O que é MQTT? – **Explicação sobre o protocolo MQTT** – AWS. 2019. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/mqtt/>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- CAYENNE. **Developer** | **myDevices.com**. 2023. Disponível em: <https://developers.mydevices.com/cayenne/features/>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- COSTA, Cainã L.; OLIVEIRA, Letícia; MÓTA, LS Michele. **Internet das coisas (IOT): um estudo exploratório em agronegócios Internet of Things (IOT):** na exploratory study in agribusiness. VI Simpósio da Cienc. do Agronegócio, 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/cienagro/wp->

content/uploads/2018/10/Internet-das-coisas-IOT-um-estudo-explorat%C3%B3rio-em-agroneg%C3%B3cios.docx-Cain%C3%A3-Lima-Costa.pdf. Acesso em: 06 nov. 2022.

FALOHUN, A. S. et al. Dangerous gas detection using an integrated circuit and MQ-9. **International Journal of Computer Applications**, v. 135, n. 7, p. 30-34, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Falohun-As/publication/295278328_Dangerous_Gas_Detection_using_an_Integrated_Circuit_and_MQ-9/links/56cae7e708aee3cee541204d/Dangerous-Gas-Detection-using-an-Integrated-Circuit-and-MQ-9.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

JESUS, Klebio de; SILVA, Ronaldo Ferreira da; VIEIRA, Cecília Cândida Frazão. APLICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS (IoT) NA AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2021. Disponível em: <http://aprender.posse.ueg.br:8081/jspui/handle/123456789/274>. Acesso em: 20 nov. 2022

LEITE, Leandro Rogério Corrêa. **Internet das Coisas (IoT): vulnerabilidades de segurança e desafios**. 2019. Disponível em: <http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/3978>. Acesso em: 10 out. 2022.

NASCIMENTO, Hugo Gomes do. **Avaliação e prospecção do uso da IoT no setor agrícola no município de Petrolina/PE**. TCC (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina, PE, 23 f., 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/843>. Acesso em: 30 out. 2022.

OLIVEIRA, Sérgio de. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. [S.L]: Novatec, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=vBjfJOnE1foC&pg=PA12&lpg=PA12&dq=practical+arduino#v=onepage&q=practical%20arduino&f=false>. Acesso em: 16 maio 2023.

ONU. **Haiti está entre os 18 focos de fome e situação deverá piorar**. 31 mai. 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/05/1815122>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ONU. **População mundial atinge 8 bilhões de pessoas**. 15 nov. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342#:~:text=ONU%20ressalta%20que%20n%C3%BAmero%20de,a%209%20bilh%C3%B5es%20em%202037>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ONU. **Um mês após leve alta, preço dos alimentos volta a cair em maio**. 2 jun. 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/06/1815307>. Acesso em: 12 jun. 2023.

PEREIRA, R. M.; SANDRI, D.; SILVA JÚNIOR, J. J. da. Evaluation of low-cost capacitive moisture sensors in three types of soils in the Cerrado, Brazil. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, [S. l.], v. 30, n. Contínua, p. 262–272, 2022. DOI: 10.13083/reveng.v30i1.14017. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/14017>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ROBOCORE. ESP32 - WiFi + Bluetooth - RoboCore. 2022. Disponível em: <https://www.robocore.net/wifi/esp32-wifi-bluetooth>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ROBOCORE. Sensor DHT11 de Temperatura e Umidade - RoboCore. 2022. Disponível em: <https://www.robocore.net/sensor-ambiente/sensor-de-temperatura-dht11>. Acesso em: 15 nov. 2022.

RUANO, T.; SERRÃO, L. DA S.; SANTANA, K.; NASCIMENTO, D. A. DO; TRUQUETE, M. K. PID Algorithm Applied on Led Lamps Luminosity Control. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 12, 7 dez. 2019. Disponível em: <http://journal-repository.theshillonga.com/index.php/ijaers/article/view/1384>. Acesso em: 16 mai. 2023.

SANTOS, B. P., Silva, L. A., Celes, C. S., Borges Neto, J. B., Peres, B. S., Vieira, M. A. M., ... & Loureiro, A. A. (2016). **Internet das coisas: da teoria à prática**. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 23 out. 2022.

SANTOS, Diego Zeuner Fagundes. **Controle de luminosidade de alta eficiência, adaptável ao ambiente, utilizando lâmpada de led**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/3100>. Acesso em: 16 maio 2023.

SEUNGHWAN, Won; CHOI, Sang Won. **Three Decades of 3GPP Target Cell Search through 3G, 4G, and 5G**. Acesso em IEEE, vol. 8, pp. 116914-116960, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9119377>. Acesso em: 20 nov. 2022.

TIMMIS, Harold. **Practical Arduino Engineering**. [S.L]: Technology In Action, 2011. 307 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=vBjfJOnE1foC&pg=PA12&lpg=PA12&dq=practical+arduino#v=onepage&q=practical%20arduino&f=false>. Acesso em: 16 maio 2023.

VIEIRA, Rony Anderson Uliana. **Aplicação de processamento de imagens no controle de planta modelo: interoperabilidade com controles industriais utilizando comunicação Ethernet**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle>