

SISTEMA DE COLETA DE DADOS AGRÍCOLAS UTILIZANDO MICROCONTROLADORES CONECTADOS À REDE MESH

Professor orientador: Francisco Javier de Obaldia
Díaz

Aluno: Raphael Vilela de Paiva

PROGRAMA DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIC/CEUB

RELATÓRIOS DE PESQUISA
VOLUME 9 Nº 1- JAN/DEZ
•2023.

ISSN: 2595-4563



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RAPHAEL VILELA DE PAIVA

SISTEMA DE COLETA DE DADOS AGRÍCOLAS UTILIZANDO
MICROCONTROLADORES CONECTADOS À REDE MESH

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

Orientação: Francisco Javier de Obaldia Diaz

BRASÍLIA

2024

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais Luiz Cláudio e Roberta, exemplos de pessoas estudiosas e que sempre buscam o conhecimento, me inspirando a seguir a graduação.

A minha Avó Delza, aos meus padrinhos, a todos meus tios e primos de sangue e de consideração.

A minha namorada Júlia, ao meu irmão Gabriel, e a meus amigos da “Trupe de Frassati” e ao nosso padroeiro Beato Pier Giorgio Frassati no qual está sendo celebrado o seu centenário e em breve sua canonização, exemplos de amizade e companheirismo.

Ao clube do livro “Caçadores de Patos” e a todos os seus integrantes.

Ao dr. em eng. de energia na agricultura Gilson Debastiani, por ter me incentivado e me auxiliado no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus amigos graduados, mestres e doutores, que me guiaram e auxiliaram com sabedoria.

Ao professor orientador Me. Francisco Javier, que me incentivou e orientou no desenvolvimento deste PIC.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

*“Se meus estudos permitissem, passaria
longos dias nas montanhas contemplando
naquele ar puro a beleza do Criador.”*

Beato Pier Giorgio Frassati.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta um projeto de pesquisa aplicada, exploratória e descritiva, que emprega uma abordagem qualitativo-quantitativo para monitorar os dados climáticos do ambiente. O projeto utiliza dois equipamentos, “Home” e “Externo”, equipados com vários sensores, incluindo BME280, DS18B20, AHT10, sensor Capacitivo de Umidade do Solo (S.C.U.S.), e um sensor de composição do solo 7 em 1, que conseguem aferir temperatura, pressão, umidade, pH, NPK, e condutividade elétrica. Esses equipamentos se comunicam por meio de uma rede mesh sem fio. O equipamento “Home” recebe e armazena mensagens de outros dispositivos na rede em um arquivo de texto em um cartão microSD. O equipamento “Externo” monitora os dados climáticos em uma área de cultivo específica. Os dados coletados são inicialmente armazenados como texto e posteriormente convertidos para o formato CSV para análise em planilhas. Após a coleta e o tratamento dos dados, gráficos são gerados para facilitar a análise. Os gráficos puderam mostrar um acompanhamento de 1 dia na mudança de temperatura, umidade e pressão, podendo observar correlações de parâmetro para parâmetro, que quando um é alterado implica na mudança do outro. Também foi possível nessa pesquisa, utilizando esses equipamentos e sistema testar a mudança da composição química de amostras, podendo simular alguns tipos de solo, com as diferentes amostras exemplificando, diferença de pH, diferença da composição de NPK e condutividade elétrica. Esta pesquisa demonstra a aplicação eficaz da tecnologia no monitoramento ambiental e climático, podendo gerar e fornecer dados valiosos para diversas aplicações dentro do ambiente agrícola e influenciar positivamente dentro da agricultura de precisão.

Palavras-chave: Monitoramento Ambiental, Monitoramento Climático, Agricultura de Precisão, Rede Mesh, Sensores, Microcontroladores.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.

2. OBJETIVOS.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

3.1. Clima e agricultura.

3.1.1. Temperatura.

3.1.2. Umidade.

3.1.3. Relação temperatura e pressão.

3.1.4. PH.

3.1.5. NPK.

3.1.6. Condutividade elétrica (EC).

3.2. Redes Mesh.

3.3. Biblioteca painlessMesh.

3.4. Arduino IDE.

3.5. Redes de sensores sem fio (RSSF).

3.6. Equipamentos.

3.6.1. Wemos d1 mini (clone).

3.6.2. Sensor BME280.

3.6.3. Sensor DS18B20.

3.6.4. Sensor AHT10.

3.6.5. Sensor capacitivo de umidade do solo.

3.6.6. Módulo DS1307 (RTC).

3.6.7. Módulo microSD.

3.6.8. Sensor **NPKPHCTH-S RS485** 7 em 1.

4. METODOLOGIA DO TRABALHO

4.1. Metodologia

4.2. Desenvolvimento

4.2.1. Equipamentos

4.2.1.1. “Home”

4.2.1.2. “Externo”

4.2.2. Programação

4.2.2.1. “Home”

4.2.2.2. “Externo”

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Instalação

5.2. Coleta de dados

5.3. Tratamento dos dados

5.3.1. “Home”

5.3.2. “Externo”

5.4. Geração dos Gráficos

5.4.1. Gráfico da umidade x tempo.

5.4.2. Gráfico da temperatura x tempo.

5.4.3. Gráfico da pressão atmosférica x tempo.

5.4.4. Gráfico de dispersão da umidade x temperatura.

5.4.5. Gráfico de dispersão da pressão atmosférica x umidade.

5.4.6. Gráfico de dispersão da pressão atmosférica x temperatura.

5.5. Dados do sensor 7 em 1.

5.5.1. Água.

5.5.2. Solução I.

5.5.3. Solução II.

5.5.4. Solução III.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7. REFERÊNCIAS

8. APÊNDICE DE IMAGENS

1. INTRODUÇÃO

A transição da humanidade de caçadores e coletores para agricultores foi um marco histórico da civilização. Essa mudança ocorreu no período neolítico, por volta de 12.000 anos atrás, quando os humanos começaram a domesticar plantas e animais (DIAMOND, 1997). A agricultura forneceu uma fonte de alimento estável e permitiu o crescimento populacional e o desenvolvimento de sociedades complexas (BOSERUP, 1965). Com o passar do tempo, os humanos aprenderam a cultivar uma variedade de culturas, como trigo, cevada e legumes, que se tornaram a base de sua dieta (HARLAN, 1992). Além disso, a agricultura permitiu o desenvolvimento de ofícios especializados, já que nem todos precisavam se dedicar à produção de alimentos, levando ao desenvolvimento de novas tecnologias e ao progresso da civilização (CHILDE, 1950).

A agricultura não apenas transformou a vida cotidiana, mas também moldou a paisagem cultural e física (CROSBY, 2003). Através dela, a humanidade foi capaz de alterar o ambiente de acordo com suas necessidades. Florestas foram derrubadas para dar lugar a grandes campos agrícolas e sistemas de irrigação foram construídos para fornecer água às colheitas (CROSBY, 2003). Com todos esses avanços na agricultura, começaram a surgir novas demandas tecnológicas para contribuir no cultivo (CASEY & SMITH, 2020). Elas começaram desde novas ferramentas, a substituição da força bruta humana por equipamentos movidos a tração animal e depois por máquinas. Também surgiu a necessidade de aprimorar os estudos no campo, visando entender sobre irrigação, adubação, temperatura, ventos, irradiação solar (CASEY & SMITH, 2020).

Assim, chegamos aos dias atuais, nas grandes propriedades, com monitoramento por satélite e drones, ensaios de solo, adubos químicos para melhorar as condições do solo para o plantio, grandes sistemas de irrigação substituindo e acompanhando as chuvas, para manter a umidade ideal para cada cultivo (LIEBERT et al., 2022). Por outro lado, os pequenos produtores que não têm grandes terrenos e nem condições para implementar todos esses equipamentos em sua propriedade, acabam utilizando os métodos mais rudimentares, como medição pluviométrica, encaminhamentos de amostras do solo para análise química do solo, visualização das folhagens (que acabam mostrando algum tipo de deficiência do solo, que acaba refletindo na aparência das folhas), pequenas estufas para controlar o calor, umidade e irradiação (HAYES, 2022).

Em resposta às demandas tecnológicas na agricultura, esta pesquisa tem seu foco no desenvolvimento de equipamentos para coleta de dados através de sensores, com uma das finalidades de ser um equipamento de fácil acesso e baixo custo, podendo se tornar uma solução na ajuda para tomada de decisão para pequenos agricultores, podendo ler condições atuais coletadas do ambiente pelo equipamento.

2. OBJETIVOS

O objetivo central desta pesquisa é desenvolver dispositivos, com a capacidade de coletar dados coletados de sensores, comunicar e compartilhar esses dados coletados, com outros dispositivos semelhantes utilizando a rede WI-FI MESH criada por esses próprios dispositivos.

Ao decorrer deste estudo, procuraremos entender algumas necessidades de informação dentro da agricultura, e aplicar respostas para essas informações utilizando sensores que se comunicam através de dispositivos que utilizam a rede WI-FI MESH. Através desses dados capturados pelos sensores, poderemos compreender e desenvolver gráficos que possam mostrar de uma forma visual e de fácil interpretação os dados dos sensores disponíveis nos equipamentos.

Por meio dessas informações e gráficos, desenvolvidos com os dados coletados, poderá ser possível uma melhor tomada de decisões e de certa forma mais ágil podendo até mesmo automatizar alguns processos mais simples e criar alertas para processos mais complexos que necessitem de uma melhor interpretação humana.

3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. CLIMA E AGRICULTURA.

Dentro da agricultura é visível os cuidados como a adubação do solo elevando sua qualidade para determinado tipo de cultivo, além de tratamentos químicos para correção da acidez do solo, mas não é só isso que uma planta necessita para seu crescimento.

3.1.1. TEMPERATURA.

Para (CHERLINKA, 2021) a temperatura do solo e o crescimento das plantas estão fortemente relacionados, sendo o calor que induz o crescimento da vegetação com a absorção de água e nutrientes para o crescimento geral das plantas, e em baixas temperaturas acabam inibindo a captação de água, devido à menor viscosidade da água, e retardam o processo da fotossíntese. As altas temperaturas do solo, provocam a desidratação da argila e rachadura na areia, reduzindo seu conteúdo e aumentando a concentração de lodo. Quanto mais quente o solo, maior é a emissão de dióxido de carbono, esse calor excessivo faz com que o terreno acabe rachando devido à evaporação e a penetração de água no solo é insuficiente. Ele explica como deve ser feito, para solucionar esse problema, controlando a temperatura do solo, com cobertor e folhagem, o sombreamento do solo, irrigação do solo, entre outras técnicas.

3.1.2. UMIDADE.

(FERNANDES, 2023) explica, que devido à diminuição da camada de ozônio, acaba interferindo com chuvas intensas durante o período do verão, e o aquecimento do solo contribui para a evaporação da água presente no ambiente, formando mais chuvas. Essas chuvas intensas acabam lavando os nutrientes essenciais para as plantas como NPK, e enxofre, movendo para longe das raízes. Com grandes períodos de estiagem, torna-se necessário a irrigação, pois a água é um elemento fundamental em todas as etapas da cultura, desde a germinação até a maturação das sementes.

3.1.3. RELAÇÃO TEMPERATURA E PRESSÃO.

A relação entre a temperatura do ar e a pressão atmosférica é um tópico

complexo e dinâmico. A pressão atmosférica, que é o peso do ar sobre a superfície da Terra, varia com a temperatura do ar. Quando as temperaturas são mais baixas, o ar se torna mais denso, aumentando a pressão. Por outro lado, quando as temperaturas aumentam, as partículas se afastam, o ar se torna menos denso e a pressão diminui. Essa dinâmica é influenciada por vários fatores, incluindo a altitude e as condições climáticas. Assim, a relação entre a temperatura do ar e a pressão atmosférica é uma peça-chave na meteorologia e na climatologia. Além disso, essa relação é crucial para a previsão do tempo e para entender as mudanças climáticas globais (SANTOS; DELGADO, 2020).

3.1.4. PH.

O **pH** do solo no cerrado é crucial para a agricultura. A aplicação de calcário, especialmente incorporado no solo, busca otimizar a disponibilidade de nutrientes e favorecer o crescimento saudável das plantas. Além disso, a correção do **pH** também influencia a atividade microbiana e a absorção de elementos essenciais, como fósforo e potássio, impactando diretamente na produtividade das culturas (Pasuch; Mendonça, 2019).

3.1.5. NPK.

A sigla NPK refere-se aos três principais nutrientes necessários para o desenvolvimento saudável das culturas. O nitrogênio (N) é essencial para o crescimento vegetativo, sendo um componente da clorofila e estando envolvido na fotossíntese. O fósforo (P) é crucial para o desenvolvimento das raízes e o florescimento, além de participar da transferência de energia e da formação de DNA e RNA. Já o potássio (K) fortalece as raízes, melhora a absorção de água e mantém o pH celular. O uso adequado desses nutrientes não apenas aumenta a produtividade das lavouras, mas também melhora a qualidade dos produtos agrícolas, tornando-os mais competitivos no mercado. A sustentabilidade da agricultura também depende do manejo correto dos fertilizantes NPK, garantindo que os solos mantenham sua fertilidade ao longo do tempo.

3.1.6. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (EC).

A condutividade elétrica (EC) do solo é um indicador crucial da saúde e fertilidade do solo, medindo a capacidade da água no solo de conduzir corrente elétrica, diretamente relacionada à quantidade de sais dissolvidos e íons presentes. A medição da EC é essencial para avaliar a salinidade do solo e a disponibilidade de nutrientes, influenciando diretamente o crescimento das plantas e a produtividade das culturas. A utilização de sensores de solo, como o sensor NPKPHCTH-S RS485 7 em 1, permite a medição precisa da condutividade elétrica, fornecendo dados valiosos para o manejo agrícola. A EC elevada pode indicar a presença excessiva de sais, prejudicial para muitas culturas, enquanto valores baixos podem sugerir deficiência de nutrientes essenciais. Além disso, a condutividade elétrica do solo afeta a atividade microbiana e a absorção de nutrientes pelas plantas. A manutenção de níveis adequados de EC é fundamental para garantir um ambiente saudável para o desenvolvimento das culturas, promovendo

uma agricultura mais sustentável e produtiva (Axios Research, 2022).

3.2. REDE MESH

(ABELÉM et al., 2007) definem redes **mesh** como redes sem fio com topologia dinâmica, variável e de crescimento orgânico. Os nós dessas redes se comunicam usando variantes dos padrões IEEE 802.11 e 802.16, e o roteamento é dinâmico. A característica fundamental das redes mesh é o encaminhamento por meio de múltiplos saltos.

(GERK, 2007) explica que, ao contrário das redes **ad hoc**, nas quais as redes **mesh** se baseiam, as redes mesh não enfrentam restrições à mobilidade e ao consumo de energia. Isso ocorre porque os nós mesh normalmente têm localização fixa e podem ser facilmente alimentados.

A força do sinal é mantida dividindo-se as longas distâncias em pequenos saltos. Os nós intermediários não apenas regeneram o sinal, mas também tomam decisões de encaminhamento baseadas no conhecimento da rede.

Os nós **mesh** são pontos de acesso que incorporam as funções de roteamento. Alguns dos nós também funcionam como **gateways** para interconexão com outras redes. Normalmente, o tráfego flui dos nós **mesh** para os **gateways**.

3.3. BIBLIOTECA PAINLESSMESH.

A **painlessMesh** é uma biblioteca potente que facilita a implementação de redes mesh com os dispositivos ESP8266 e ESP32, sendo uma escolha popular para projetos que exigem comunicação entre vários dispositivos ESP (painlessMesh, 2023). Mantida por Edwin van Leeuwen, a biblioteca é compatível com as arquiteturas esp8266 e esp32 e pode ser facilmente instalada através do Gerenciador de Bibliotecas do Arduino IDE (Arduino, 2023).

A rede estabelecida pela **painlessMesh** é auto-organizada e autogerida, com todos os nós interconectados (painlessMesh, 2023). A rede adota uma topologia estrela para prevenir caminhos circulares. O tamanho máximo da rede **mesh** é determinado pela memória **heap** que pode ser alocada para cada sequência de conexões. Cada nó funciona como um ponto de acesso, com um limite de quatro nós por ponto de acesso.

A rede utiliza objetos JSON para todas as mensagens transmitidas. Isso é feito por duas razões: facilitar a interpretação do código e das mensagens pelos humanos e permitir a integração com aplicações **JavaScript Front-End** e aplicações web.

As informações de roteamento são compartilhadas por meio de mensagens de sincronização de nós. Cada nó informa seus vizinhos sobre todos os outros nós aos quais está diretamente conectado e todas as suas respectivas sub conexões. Assim, cada nó tem uma visão em tempo real de toda a malha e sabe quais "nós" estão conectados à malha. Essas informações são atualizadas a cada três segundos.

As mensagens trocadas entre os nós podem ser divididas em mensagens de controle e mensagens do usuário. As mensagens de controle são trocadas entre os nós para compartilhar informações de roteamento e sincronizar o tempo entre os nós. Por outro lado, as mensagens do usuário são criadas pelo usuário e enviam um objeto JSON para um único nó ou o transmitem pela rede.

O endereço do nó é derivado dos últimos quatro **bytes** do endereço MAC do

microcontrolador. Pacotes de controle são trocados apenas entre nós vizinhos e consistem em vários tipos.

A sincronização ocorre por meio de um par de mensagens. Primeiro, o nó envia um **NODE_SYNC_REQUEST** para seus vizinhos. Esta mensagem é do tipo 5 ("type": 5). Em seguida, os vizinhos respondem com um **NODE_SYNC_REPLY** ("type": 6).

Cada nó mantém uma lista de conexões e para cada conexão, uma lista de cada sub conexão. A lista de conexões contém as conexões que serão recebidas pelo nó e a conexão, no máximo uma, que será iniciada pelo nó. Dessa forma, cada nó tem conhecimento da topologia completa da rede.

Para mensagens individuais, o nó de destino e a origem são identificados. Primeiro, a conexão a ser usada é procurada. A conexão direta ou a conexão, com uma sub conexão com o nó de destino. A mensagem é enviada para esse nó. Quando o nó não é o nó de destino, a mensagem é retransmitida para a próxima conexão, consultada da mesma maneira. Isso se repete até que a mensagem chegue ao nó de destino. As mensagens não são confirmadas. Isso deve ser implementado no nível do aplicativo.

Para mensagens de **broadcast** ou mensagens enviadas para todos os nós, todas as conexões são percorridas e as mensagens são enviadas para cada conexão. Ao receber a mensagem, ela é retransmitida para todas as conexões do nó de recebimento, exceto para o nó que recebeu, ou seja, ele mesmo.

A **painlessMesh** é uma escolha popular para projetos que exigem comunicação entre vários dispositivos ESP, permitindo que os desenvolvedores se concentrem em criar aplicações inovadoras e interessantes para suas redes **mesh** (painlessMesh, 2023).

3.4. ARDUINO IDE.

A Arduino IDE é uma plataforma de desenvolvimento de código aberto que facilita a escrita e envio de código para placas de desenvolvimento. Ela é um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) que serve como plataforma de desenvolvimento para codificação e atualização das placas de desenvolvimento com a utilização da linguagem C/C++. A nova versão principal do Arduino IDE é mais rápida e poderosa, com um editor moderno, interface responsiva, preenchimento automático, navegação de código e até mesmo um depurador ao vivo. A Arduino IDE 2.0 é de código aberto e seu código-fonte está hospedado no GitHub. Além disso, a Arduino IDE suporta MicroPython para programar suas placas e a Arduino PLC IDE permite programar usando linguagens IEC 61131-3 e misturar esboços Arduino. (EBSCO Information Services, 2019) (Software | Arduino, 2023).

3.5. REDES DE SENSORES SEM FIO.

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são uma tecnologia emergente que oferece uma funcionalidade sem precedentes para monitorar, instrumentar e, potencialmente, controlar o mundo físico (LOUREIRO, 2006). Elas se caracterizam pela capacidade de monitorar uma ou mais variáveis de interesse em um determinado evento (CARVALHO et. Al., 2012). Uma das principais vantagens das RSSF é que as posições dos nós sensores não precisam ser pré-definidas, implicando que a rede de sensores deve possuir protocolos e algoritmos com capacidade de auto-organização. No entanto, os nós de uma rede de sensores podem ser descartados ou saírem de serviço por várias razões,

como problemas na disposição, falhas nos componentes e falhas de comunicação (RUIZ et. Al., 2003). Mesmo com a falha de um nó, a topologia da rede é dinâmica.

Cada RSSF possui particularidades próprias, devido ao tipo de aplicação e aos seus objetivos, portanto, o requisito de um protocolo difere conforme as características de cada rede (BRITTES, 2007). Algumas redes necessitam de transferência de dados contínuos e outras em um intervalo de tempo maior ou ainda somente quando realizam uma solicitação à estação base (gateway). Devido ao grande número de nós ativos em uma RSSF, dificilmente se aplicaria a utilização dos protocolos tradicionais, baseados em IP, pois nesse caso, haveria um alto tráfego de controle para a manutenção da rede (LAZZAROTTO, 2008).

3.6. EQUIPAMENTOS.

3.6.1. WEMOS D1 MINI (clone).

O Wemos D1 Mini é um “**System on a Chip**” (**SoC**), ou “Sistema no Chip”, que utiliza o ESP-12F, um microcontrolador de 32 bits, fabricado pela companhia chinesa Expressif. Este módulo é equipado com um transmissor Wi-Fi, tornando-o uma escolha popular, especialmente no domínio da automação residencial. Ele possui 11 pinos de entrada e saída de propósito geral (GPIOs), além de uma entrada analógica, permitindo programá-lo como qualquer Arduino ou outro microcontrolador. A comunicação Wi-Fi integrada é uma grande vantagem, pois permite utilizar todos os recursos de rede e hospedar uma aplicação web para responder a requisições.

Operando com uma tensão de 3.3V e uma velocidade de clock de 80MHz, que pode ser aumentada para até 160MHz, o Wemos D1 Mini é equipado com uma memória flash de 4MB, permitindo armazenar e recuperar informações mesmo quando o dispositivo é desligado e ligado novamente. Ele também suporta vários protocolos de segurança Wi-Fi, incluindo TKIP, WEP, CRC, CCMP, WPA/WPA2 e WPS, e é compatível com MicroPython, Arduino e NodeMCU, oferecendo flexibilidade para os desenvolvedores escolherem a plataforma de programação que melhor atenda às suas necessidades. Em resumo, o Wemos D1 Mini é uma placa compacta e poderosa que oferece uma ampla gama de funcionalidades, tornando-o uma escolha ideal para projetos de IoT e automação residencial.

Figura 1 – Wemos D1 MINI (clone).



Fonte: blogmasterwalkershop.com.br

3.6.2. SENSOR BME280.

O BME280 é um sensor ambiental compacto, ideal para aplicações móveis. Ele mede pressão, umidade e temperatura em um único pacote LGA de 8 pinos. Este sensor é adequado para aplicações móveis e **wearables**, onde o tamanho reduzido e o consumo de energia são essenciais (BOSCH, 2023). A Adafruit disponibiliza o BME280 em uma placa de circuito impresso personalizada, que inclui um regulador de 3,3V e deslocamento de nível, permitindo que seja usado com um microcontrolador de lógica de 3V ou 5V (ADAFRUIT, 2023). Além disso, o BME280 é conhecido por sua confiabilidade e durabilidade, tornando-o uma escolha popular entre os entusiastas da eletrônica. Seu design robusto e capacidade de operar em uma ampla gama de condições ambientais o tornam ideal para uma variedade de aplicações, desde o monitoramento do clima até o controle de sistemas de **HVAC** (do inglês **Heating, Ventilation and Air Conditioning**). Com sua capacidade de fornecer leituras precisas e confiáveis, o BME280 continua a definir o padrão para sensores ambientais integrados (BOSCH, 2023).

Figura 2 – sensor BME280.



Fonte: www.smartkits.com.br

3.6.3. SENSOR DS18B20.

O DS18B20, produzido pela Maxim Integrated, é um sensor de temperatura digital conhecido por sua precisão de $\pm 0,5$ °C em uma ampla faixa de temperaturas, variando de -55 °C a + 125 °C (MAXIM INTEGRATED, 2023). Ele possui uma interface digital 1-**Wire**, que facilita a leitura da temperatura convertida internamente de analógico para digital. Uma característica única do DS18B20 é que cada sensor tem um código serial de 64 bits, permitindo que vários desses sensores operem no mesmo barramento 1-**Wire**. O DS18B20 é extremamente versátil e pode ser usado em uma variedade de aplicações. Ele é particularmente útil para medições de temperatura em ambientes úmidos ou até mesmo subaquáticos, graças à sua versão em forma de sonda impermeável. Seja para controles termostáticos, sistemas industriais, produtos de consumo, termômetros ou qualquer sistema sensível à temperatura, o DS18B20 é uma opção confiável (MAXIM INTEGRATED, 2023).

Figura 3 – sensor Ds18b20.



Fonte: curtocircuito.com.br

3.6.4. SENSOR AHT10.

O AHT10 é um sensor altamente preciso, capaz de medir tanto a temperatura quanto a umidade. Ele é ideal para uso com microcontroladores, Arduino e Raspberry Pi (AOSONG, 2023). O sensor é equipado com um ASIC recém-projetado, um elemento de detecção de umidade capacitivo de semicondutores **MEMS** (do inglês **Micro-Electro-Mechanical Systems**) aprimorado e um elemento de detecção de temperatura padrão no chip. Ele fornece um sinal digital calibrado no formato I2C padrão e opera idealmente com uma tensão de 3.3V. Este sensor é extremamente versátil e pode ser usado como substituto para sensores populares como o DHT11, AM2302, SHT20, entre outros. Ele é adequado para medições de temperatura e umidade em ambientes úmidos e até mesmo subaquáticos. O AHT10 possui comunicação do tipo I2C e dimensões físicas muito pequenas, além de baixo consumo de energia e pinagem própria para uso imediato, já que está integrado em uma placa (AOSONG, 2023).

Figura 4 - sensor AHT10.



Fonte: www.d3noob.org

3.6.5. SENSOR CAPACITIVO DE UMIDADE DO SOLO.

O Sensor de Umidade do Solo Capacitivo V2.0 é um dispositivo de alta precisão que utiliza a detecção capacitiva para medir a umidade do solo, ao contrário de outros sensores que utilizam detecção resistiva (SENSEAIR, 2023). Este sensor é feito de material resistente à corrosão, o que lhe confere uma excelente vida útil. Ele é inserido no solo e fornece dados em tempo real sobre a umidade do solo. Este módulo de sensor possui um regulador de tensão integrado, permitindo uma faixa de tensão de operação de 3.3 ~ 5.5V. Além disso, o Sensor de Umidade do Solo Capacitivo V2.0 é equipado com um ASIC recém-projetado, um elemento de detecção de umidade capacitivo de semicondutores **MEMS** (do inglês **Micro-Electro-Mechanical Systems**) aprimorado e um elemento de detecção de temperatura padrão no chip. Ele fornece um sinal digital calibrado no formato I2C padrão. O sensor opera idealmente com uma tensão de 3,3V. Este sensor é especialmente desenvolvido para integração em projetos com microcontroladores, Arduino e Raspberry Pi (SENSEAIR, 2023).

Figura 5 - sensor capacitivo de umidade do solo.



Fonte: curtocircuito.com.br

3.6.6. MÓDULO DS1307 (RTC).

O Módulo RTC DS1307 é um dispositivo de alta precisão que fornece dados de tempo e calendário completos, incluindo segundo minuto, hora, dia, mês e ano (ARDUINO E CIA, 2021). Ele pode operar em formatos de 12 ou 24 horas e faz ajustes automáticos para meses com menos de 31 dias e anos bissextos (BA0SH1, 2018). Este módulo possui um circuito integrado que detecta falhas de energia e ativa automaticamente uma bateria para evitar a perda de dados (BA0SH1, 2018). A comunicação de dados e endereços é feita através do protocolo I2C (ARDUINO E CIA, 2021). O seu consumo de corrente é inferior a 500nA no modo bateria, com o oscilador em funcionamento (BA0SH1, 2018). Devido à sua precisão e facilidade de uso, o Módulo RTC DS1307 é comumente utilizado em projetos com Arduino (ARDUINO E CIA, 2021).

Figura 6 - módulo DS1307(RTC).

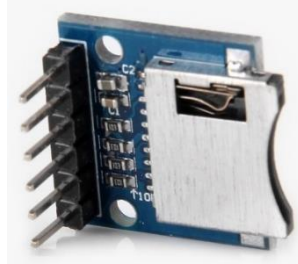


Fonte: curtocircuito.com.br

3.6.7. MÓDULO MICROSD.

O Módulo **MicroSD card** é um componente eletrônico versátil que permite a interação com cartões **microSD**, facilitando a leitura e gravação de dados (ARDUINO E CIA, 2021). Este módulo é amplamente utilizado em plataformas de desenvolvimento como Arduino e ESP8266 (BA0SH1, 2018). Ele suporta cartões formatados em FAT16 e FAT32 e opera com uma tensão de alimentação de 3,3V a 5V (ARDUINO E CIA, 2021). A comunicação entre o módulo e o microcontrolador é realizada através do protocolo SPI (BA0SH1, 2018). Devido ao seu tamanho compacto, o módulo **microSD** é ideal para projetos que requerem um fator de forma pequeno (ARDUINO E CIA, 2021). Ele oferece uma solução eficiente para o armazenamento de uma abundância de dados não voláteis, como arquivos de texto, músicas, fotos e vídeos (BA0SH1, 2018). Segundo o fabricante, o módulo é compatível com cartões de memória **microSD** de até 2 GB e cartões **microSDHC** de alta velocidade de até 32 GB (ARDUINO E CIA, 2021).

Figura 7 – Módulo MicroSD.

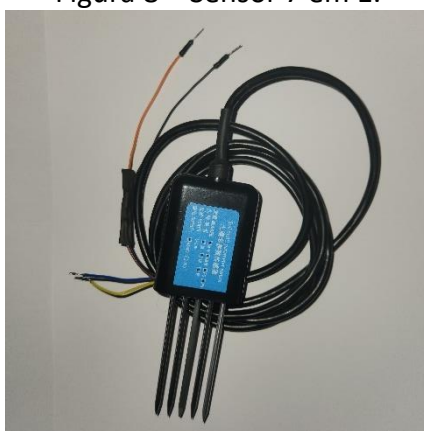


Fonte: www.huinfinito.com.br

3.6.8. SENSOR **NPKPHCTH-S RS485 7 EM 1**.

O Sensor **NPKPHCTH-S RS485 7 em 1**(nitrogênio, fósforo, potássio, pH, condutibilidade elétrica, temperatura e umidade) é um dispositivo avançado projetado para monitorar as condições do solo com precisão, integrando múltiplas funcionalidades em um único equipamento compacto. Ele mede Nitrogênio, Fósforo, Potássio, pH, Condutividade Elétrica (**EC**), Umidade do Solo e Temperatura do Solo, sendo ideal para agricultura de precisão, pesquisa científica e aplicações agrônômicas. A condutividade elétrica avalia a concentração de íons no solo, essencial para determinar a fertilidade e salinidade, e ajustar a dosagem de nutrientes. A umidade do solo informa sobre a quantidade de água disponível para as plantas, crucial para o crescimento saudável e absorção de nutrientes. A temperatura do solo monitora a temperatura, influenciando o metabolismo das plantas e as reações químicas no solo. Além disso, o sensor fornece dados sobre os níveis de Nitrogênio, Fósforo e Potássio, macronutrientes essenciais para o crescimento das plantas, permitindo ajustes na fertilização conforme necessário. Utilizando tecnologia **RS485** para transmissão de dados, o sensor facilita a integração com sistemas de monitoramento e controle. Embora a medição de **NPK** utilize um método de detecção rápida que pode apresentar imprecisões, o sensor permite o registro de dados NPK para referência e ajuste com instrumentos padrão. Este sensor é uma ferramenta valiosa para obter insights detalhados sobre o estado nutricional e as condições do solo, promovendo uma gestão agrícola mais eficiente e sustentável.

Figura 8 – Sensor 7 em 1.



Fonte: Autor.

4. MÉTODO

4.1. METODOLOGIA.

Este projeto de pesquisa é do tipo aplicada, quali-quantitativa, exploratória, descritiva e estudo de caso.

O trabalho foi realizado em dois locais: um em Brasília-DF para o desenvolvimento e coleta de dados, e em uma Fazenda no interior de Paracatu-MG para coleta de dados e testes em campo. Foram coletados os dados de temperatura e umidade do solo e do ar usando os equipamentos sem a utilização de fios para o compartilhamento dos dados, esse compartilhamento de dados usando a comunicação pela rede de malha sem fio.

Quanto a análise dos dados, o equipamento principal (nomeado de “Home”) coletou os dados dos demais equipamentos, conectados à rede, e armazenou em dois

arquivos. Com esses dados coletados de cada sensor, foram gerados gráficos de análise.

Quanto a parte de teste e coleta de dados do sensor 7 em 1, e a análise dos resultados poder ser significativa, o método da análise foi diferente contudo, usando o mesmo sistema de coleta de dados. Para isso foi utilizado um outro equipamento semelhante junto a uma interface homem máquina (IHM), para comparação dos resultados. Já que para uma mudança significativa na composição dos nutrientes do solo de forma natural com o consumo das plantas levaria um longo tempo, então foram testados 2 tipos de solo para uma coleta de dados pelos equipamentos para uma simples comparação, já que o objetivo principal do projeto é a coleta de dados por mais de 1 equipamento sem a necessidade de comunicação por fios.

4.2. DESENVOLVIMENTO.

O Sistema foi desenvolvido em uma rede mesh isolada, e gerada pelos próprios equipamentos, como uma distância aproximada de sete metros, entre o principal isolado do terreno, chamado de “Home”, e o segundo equipamento com os sensores no ambiente externo, foi chamado de “externo”. A rede foi criada através do uso de uma biblioteca chamada de “*painlessMesh*”, que faz um autogerenciamento, facilitando a entrada de novos dispositivos, e suas comunicações internas.

Foram desenvolvidos dois equipamentos, para fazer o monitoramento da temperatura e umidade. Como o projeto tem um foco principal em ser econômico, para isso foi pesquisado dispositivos e sensores com um custo baixo que cumprem o seu papel com eficiência. Logo, foi escolhido como o microcontrolador principal o “**Wemos D1 mini(clone)**” que contém um módulo **ESP8266/ESP-12F**, pequeno e compacto, e com um baixo consumo.

Os equipamentos foram construídos, com o pensamento de desenvolver um para ser o principal, e com uma função bem definida. O principal, que no planejamento e desenvolvimento deste trabalho, recebeu o nome de “home”, tem como foco principal de receber todas as mensagens de outros equipamentos, conectados à mesma rede, e guardar essas mensagens em um arquivo de texto, dentro de um cartão **microSD**.

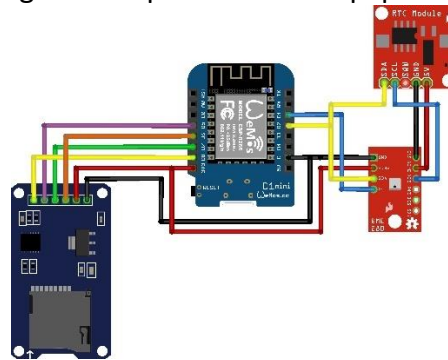
4.2.1. EQUIPAMENTOS.

4.2.1.1. “HOME”.

O equipamento “home”, conta com alguns módulos e sensores, para enriquecimento de informações sobre o ambiente, e auxílio no gerenciamento e armazenamento dos dados. Junto a placa de desenvolvimento “**Wemos**”, foi acrescentado o módulo **BMP/BME280**, um sensor que captura os dados de temperatura e umidade do ar, e pressão atmosférica, também foi instalado nesse equipamento o **DS1307(RTC)**, que é um módulo de “relógio de tempo real”, que mesmo sem alimentação externa ele continua marcando o tempo por meio de uma bateria de relógio, e o terceiro módulo dentro do equipamento “home” é um adaptador de cartão **microSD**, para poder armazenar o arquivo de texto em um cartão instalado. Também cabe registro que foi utilizado para alimentação do equipamento um conjunto de 3 baterias 18650 de 4,2V e 9800mAh cada, um módulo carga e proteção para baterias, e um módulo elevador de

tensão para 5V.

Figura 9 - Diagrama esquemático do equipamento “Home”.

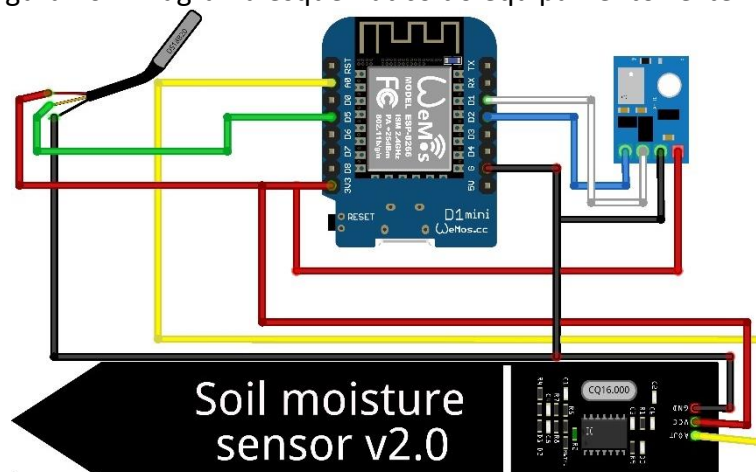


Fonte: Autor.

4.2.1.2. “EXTERNO”.

O equipamento “externo”, conta com três sensores, que permitem a captura de quatro informações diferentes, essas informações estão atreladas à condição do ambiente externo. Junto ao microcontrolador “**Wemos D1 Mini**”, foi acrescentado um Sensor Capacitivo de Umidade do Solo (**S.C.U.S.**), um sensor de temperatura **DS18B20** encapsulado e a prova d’água, e um sensor de umidade e temperatura do ar **AHT10**. Tanto o sensor **DS18B20** e o “**S.C.U.S.**” enterrados no solo para captura de dados, e o sensor **AHT10** pendurado em galho ou estaca afastado do solo. E cabe registro que foi utilizado para alimentação do equipamento um conjunto de 4 baterias 18650 de 4,2V e 9800mAh cada, um módulo carga e proteção para baterias, e um módulo elevador de tensão para 5V. Uma alimentação interna assim como no equipamento “home”.

Figura 10 – Diagrama esquemático do equipamento “externo”.



Fonte : Autor.

4.2.2. PROGRAMAÇÃO.

4.2.2.1. “HOME”.

O programa foi desenvolvido para o monitoramento do ambiente, ele utiliza o sensor **BME280** para coletar dados de temperatura, umidade e pressão, e armazena esses dados em um cartão **microSD** a cada 30 segundos, juntamente com a data e hora atual fornecida por um módulo de relógio em tempo real (**RTC**). Além disso, o programa é capaz de se comunicar com outros dispositivos por meio de uma rede sem fio **mesh**, permitindo que ele receba e registre mensagens desses dispositivos. Tudo isso é realizado de maneira eficiente e confiável, tornando o programa uma solução robusta para monitoramento do ambiente.

O funcionamento do programa pode ser separado em 4 tópicos: Inicialização; Leitura do Sensor; Impressão e Armazenamento de Dados; e Comunicação **Mesh**.

1. Inicialização: O programa começa inicializando a comunicação serial, o sistema de arquivos do cartão **microSD**, o sensor **BME280**, o **RTC** e a **rede mesh**. Se qualquer um desses componentes falhar ao inicializar, o programa imprimirá uma mensagem de erro na comunicação serial.

2. Leitura do Sensor: No **loop** principal, o programa verifica se passaram 30 segundos desde a última leitura do sensor. Se sim, ele lê a temperatura, umidade e pressão do sensor **BME280**.

3. Impressão e Armazenamento de Dados: Os valores lidos do sensor, juntamente com a data e hora atual, são impressos na comunicação serial e gravados em um arquivo no cartão SD.

4. Comunicação **Mesh**: O programa é capaz de se comunicar com outros dispositivos por meio de uma rede sem fio mesh. Quando uma mensagem é recebida de outro nó na rede, o programa grava a mensagem, juntamente com a data e hora atual, em um arquivo no cartão SD. O nome do arquivo é o ID do nó que enviou a mensagem.

4.2.2.2. "EXTERNO".

O programa foi desenvolvido para monitorar a temperatura e umidade do ar e do solo, próximos a alguma área de cultivo. Ele usa o sensor **AHT10** para medir a temperatura e a umidade do ar, o sensor **DS18B20** para medir a temperatura do solo e um sensor de umidade do solo para medir a umidade do solo. Esses dados são coletados a cada 30 segundos e, em seguida, transmitidos para uma rede **mesh** sem fio, permitindo que os dados sejam compartilhados com outros dispositivos na rede. Isso permite um monitoramento contínuo e em tempo real das condições ambientais, fornecendo dados valiosos para aplicações como a agricultura de precisão.

O funcionamento desse programa, é mais simples do que o anterior, e pode ser separado em 3 tópicos: Inicialização; Leitura do Sensor; e Transmissão de Dados.

1. Inicialização: O programa começa inicializando a comunicação serial, os sensores **AHT10** e **DS18B20** e a rede mesh. Se qualquer um desses componentes falhar ao inicializar, o programa retornará e não prosseguirá com o restante do código.

2. Leitura do Sensor: No loop principal, o programa atualiza o estado da rede **mesh**. Além disso, a cada 30 segundos, ele lê a temperatura e a umidade do sensor **AHT10**, a temperatura do sensor **DS18B20** e a umidade do solo.

3. Transmissão de Dados: Os valores lidos dos sensores são então formatados em uma **string** e transmitidos para a rede mesh.

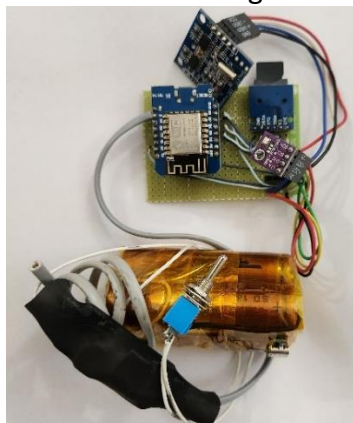
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

5.1. INSTALAÇÃO.

Os equipamentos foram testados no local prático e real, na Fazenda descrita na metodologia, mas foi coletado para essa pesquisa em vasos de plantas em área com um maior controle. Os equipamentos foram acomodados em local próximo, mas sem a conexão física por meio de cabeamento de comunicação de dados, todos ao abrigo do ambiente externo.

Para melhor aproveitamento foi feito um segundo equipamento “externo” somente conectado com o sensor 7 em 1, para facilitar a movimentação sem mexer, nas conexões dos outros equipamentos, que poderiam sofrer alterações. Com esse registro, a análise do segundo equipamento “externo” ficou isolada das análises dos demais equipamentos e sensores, mas a coleta dos dados se deu em tempo real em todos os equipamentos de acordo com a configuração dos dispositivos.

Figura 11 – Equipamento “home” e sua fonte de energia.



Fonte: Autor.

Figura 12 – Equipamento “externo” e sua fonte de energia.



Fonte: Autor.

5.2. COLETA DE DADOS.

Para registro, foi possível na segunda coleta dos dados coletar mais de 36 horas de dados recolhidos do microSD do equipamento “home” a cada 30 segundos junto com os dados coletados pelo equipamento externo. Foi possível a coleta de 4700 linhas de dados dos dois equipamentos, mas para a análise e geração de gráficos, foi utilizado dados de somente 24 horas dos dois equipamentos e com os dados dos principais sensores (**ATH10, BME280, DS18B20, SENSOR DE UMIDADE DO SOLO**), a parte do sensor 7 em 1 foi analisado separadamente com um outro sensor semelhante já com o **IHM** instalado, somente para base comparativa.

5.3. TRATAMENTO DOS DADOS.

Esses dados foram coletados, por meio de mensagens JSON, e armazenados em um arquivo em formato de texto, extensão “.txt”. Da maneira como foi construído o programa principal, esse texto segue um padrão de escrita dos dados obtidos, e

armazena em dois arquivos, um para cada equipamento. Esses dados, só podem ser lidos no formato de texto, e para fazer uma análise dos dados em planilhas e tabelas, precisam ser tratados e convertidos em um novo arquivo com extensão “.csv”.

5.3.1. “HOME”.

Para realizar o tratamento dos dados do “home”, foi necessário em primeiro lugar reescrever o arquivo original, pois o tempo e os dados estavam em linhas diferentes, em segundo lugar foi preciso ler esse segundo arquivo gerado e recortar de cada linha as informações necessárias, e armazenar em uma variável correspondente, e em último lugar criar um arquivo “csv” separado por “;” para assim abrir em um editor de planilhas.

Para esse fim foi desenvolvido um programa em python específico para o tratamento dos dados do “home”, seguindo o padrão de apresentação dos dados do sensor BME280, e gerando o arquivo final em “csv”.

5.3.2. “EXTERNO”.

Na realização o tratamento dos dados do “externo”, foi feito de maneira semelhante ao tratamento de dados do “home”, seguindo todas as etapas iniciais e se diferenciando na parte do tratamento dos dados dos sensores, sendo que no “home” havia somente um sensor que entregava três dados diferentes, no “externo” há três sensores diferentes para quatro dados. Logo foi desenvolvido um programa em python específico, para ler o arquivo original e criar o arquivo “csv”, um pouco mais complexo que código anterior, sendo que há quatro dados, sendo dois de temperatura e dois de umidade, um par de temperatura e umidade para o solo e outro para o ar.

5.4. GERAÇÃO DOS GRÁFICOS.

5.4.1. GRÁFICO DA UMIDADE X TEMPO.

A “8 APÊNDICE DE IMAGENS – Figura 26” apresenta o gráfico da umidade do ar e solo, coletados através dos sensores instalados nos equipamentos de coleta de dados, mostrando a variação da umidade no período de 24 horas, e destacando a diferença da umidade no solo e ar.

5.4.2. GRÁFICO DA TEMPERATURA X TEMPO.

A “8 APÊNDICE DE IMAGENS – Figura 27” apresenta o gráfico da temperatura do ar e solo, coletados através dos sensores instalados nos equipamentos de coleta de dados, mostrando a variação da temperatura no período de 24 horas, e destacando a diferença da temperatura no solo e ar.

5.4.3. GRÁFICO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA X TEMPO.

A “8 APÊNDICE DE IMAGENS – Figura 28” apresenta o gráfico da pressão atmosférica, coletada através do sensor **BME280** instalado no equipamento principal, mostrando a variação da pressão atmosférica ao decorrer de um dia durante um período de 24 horas.

5.4.4. GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE X TEMPERATURA.

A “8 APÊNDICE DE IMAGENS – Figura 29” apresenta o gráfico de dispersão da umidade do ar em relação a temperatura do ar coletada através do sensor **BME280** instalado no equipamento principal de coleta de dados, mostrando a variação da umidade em relação a temperatura do ar no período de 24 horas, e destacando a linha de tendência, que mostra que quanto menor a temperatura a umidade do ar acaba apresentando um maior valor percentual, indicando um condensação e acúmulo de umidade no sensor quanto menor a temperatura.

5.4.5. GRÁFICO DE DISPERSÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA X TEMPERATURA.

A “8 APÊNDICE DE IMAGENS – Figura 30” apresenta o gráfico de dispersão da pressão atmosférica em relação a temperatura do ar coletada através do sensor **BME280** instalado no equipamento principal de coleta de dados, mostrando a variação da pressão atmosférica em relação a temperatura do ar no período de 24 horas, e com destaque linha de tendência mostrando quando a temperatura sobe os gases se dilatam e a tendência da pressão atmosférica é diminuir, e quando os gases se contraem pela temperatura mais baixa a pressão atmosférica tende a aumentar.

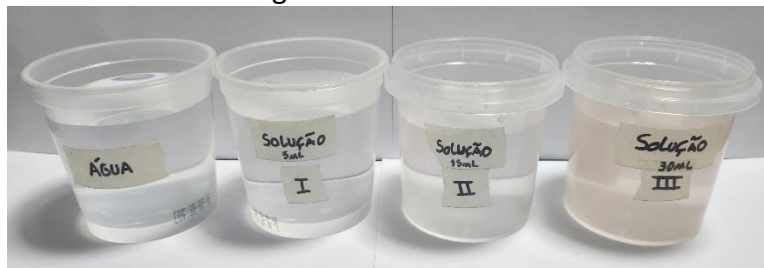
5.4.6. GRÁFICO DE DISPERSÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA X UMIDADE.

A “8 APÊNDICE DE IMAGENS – Figura 31” apresenta o gráfico de dispersão da pressão atmosférica em relação a umidade do ar coletada através do sensor **BME280** instalado no equipamento principal de coleta de dados, mostrando a variação da pressão atmosférica em relação a umidade do ar no período de 24 horas, e com destaque linha de tendência, a dispersão nessa linha de comparação da pressão atmosférica em relação a umidade é bem maior do que nas comparações dessas duas medidas com a temperatura mostrando uma relação maior entre a temperatura com a pressão e umidade. Mas essas análises de pressão atmosférica, umidade e temperatura servem para previsão do clima.

5.5. DADOS DO SENSOR 7 EM 1.

Para colocar em teste o sensor, foi feita uma solução hiper concentrada de NPK (4-14-8) em água, depois foram separadas 4 amostras contendo um volume total de 350ml, uma somente com água, na solução I foi substituído 5ml de água pela solução de NPK, na solução II 15ml, e na solução III 30ml.

Figura 13 – Amostras.



Fonte: Autor.

Após a separação dessas 4 amostras, foram mergulhados as pontas de prova dos dois sensores nas amostras, um dos sensores com o painel IHM que foi adquirido junto com o sensor, o segundo sensor com o equipamento de coleta de dados via rede mesh.

5.5.1. ÁGUA.

Figura 14 – Sensor + IHM na amostra água.



Fonte: Autor.

Figura 15 – Sensor + rede mesh na amostra água.



Fonte: Autor.

Para a amostra somente com água apresentou uma grande diferença em comparação dos dois sensores, mas essa diferença permaneceu nas outras amostras com mudanças de sensor para sensor e amostra para amostra, com mesmo sensor. Mas o que mais apresentou diferença na mudança de amostra foi o sensor da rede mesh.

Na amostra “Água”, a presença de nitrogênio diluído apresentou-se irrelevante, logo apareceu com o resultado zerado, enquanto fosforo e potássio apresentaram

valores mínimos, ao longo dos testes foi possível notar a alteração do pH de cada amostra.

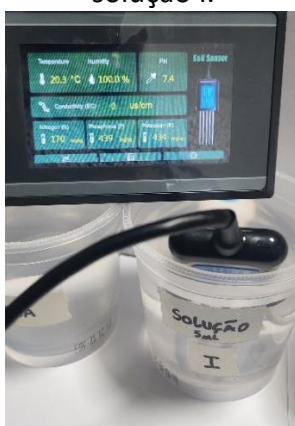
Figura 16 – Tabela sensor + rede mesh na água.

Água	Umidade	Temperatura	EC
	100,00%	17,70°C	147us/cm
	100,00%	17,50°C	147us/cm
pH	N	P	K
7,2	0mg/kg	28mg/kg	20mg/kg
7,3	0mg/kg	28mg/kg	20mg/kg

Fonte: Autor.

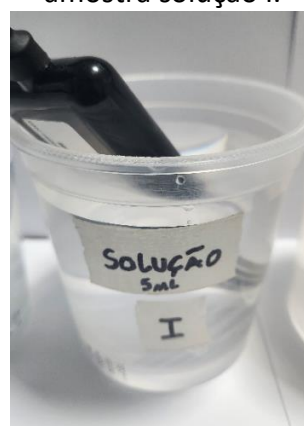
5.5.2. SOLUÇÃO I.

Figura 17 – Sensor + IHM na amostra solução I.



Fonte: Autor.

Figura 18 – Sensor + rede mesh na amostra solução I.



Fonte: Autor.

Na amostra “Solução I”, a presença de nitrogênio, fosforo e potássio diluídos apresentaram valores baixos, o pH não se alterou em comparação com a amostra de água para o sensor com rede mesh, mas o sensor com o IHM que havia indicado que a amostra de água estava básica com o pH 9,0 e solução I neutra com pH 7,4.

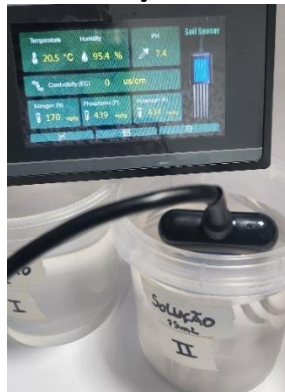
Figura 19 – Tabela sensor + rede mesh na solução I.

Solução I	Umidade	Temperatura	EC
	100,00%	17,30°C	334us/cm
	100,00%	17,20°C	334us/cm
pH	N	P	K
6,2	31mg/kg	118mg/kg	111mg/kg
7,2	31mg/kg	118mg/kg	111mg/kg

Fonte: Autor.

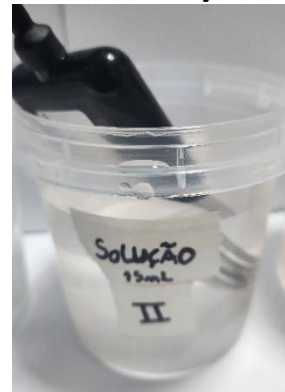
5.5.3. SOLUÇÃO II.

Figura 20 – Sensor + IHM na amostra solução II.



Fonte: Autor.

Figura 21 – Sensor + rede mesh na amostra solução II.



Fonte: Autor.

Na amostra “Solução II”, a presença de nitrogênio, fósforo e potássio diluídos apresentaram valores acima de 100mg/kg, o pH começou a se apresentar mais básico em relação as outras amostras para o sensor com rede mesh além de apresentar uma diminuição dos valores de umidade em comparação com as amostras anteriores, mas o sensor com o IHM manteve os valores de pH entre outros, só apresentando uma diminuição da umidade que em água pura marcava 100%.

Figura 22 – Tabela sensor + rede mesh na solução II.

	Umidade	Temperatura	EC
Solução II	90,80%	17,10°C	812us/cm
	92,80%	17,10°C	812us/cm
pH	N	P	K
6,9	131mg/kg	348mg/kg	343mg/kg
7,9	131mg/kg	348mg/kg	343mg/kg

Fonte: Autor.

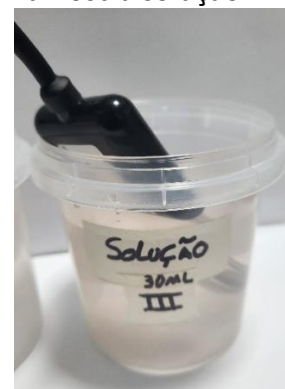
5.5.4. SOLUÇÃO III.

Figura 23 – Sensor + IHM na amostra solução III.



Fonte: Autor.

Figura 24 – Sensor + rede mesh na amostra solução III.



Fonte: Autor.

Na amostra “Solução III”, a presença de nitrogênio, fosforo e potássio diluídos apresentaram valores acima de 300mg/kg, o pH se mostrou o mais básico em relação as amostras anteriores para o sensor com rede mesh e caiu um pouco mais a umidade em relação a umidade da amostra anterior, mas o sensor com o IHM atingiu o fundo de sua escala, manteve os valores de pH das amostras anteriores, e mostrou outra diminuição da umidade.

Figura 25 – Tabela sensor + rede mesh na solução III.

	Umidade	Temperatura	EC
Solução III	72,90%	17,10°C	1654us/cm
	73,50%	17,10°C	1659us/cm
pH	N	P	K
8	306mg/kg	754mg/kg	752mg/kg
8,1	307mg/kg	757mg/kg	755mg/kg

Fonte: Autor.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Este trabalho demonstrou a viabilidade de criar uma rede mesh de sensores sem fio capaz de coletar e processar dados climáticos e de composição do solo. O sistema foi implementado no interior de Paracatu-MG, onde coletou uma parte dos dados, e em área de teste monitorado. Os dados foram transmitidos através da rede mesh para um dispositivo interno, onde foram armazenados e posteriormente analisados.

A análise dos dados coletados forneceu percepções valiosos sobre as condições climáticas onde instalado, permitindo uma melhor gestão das culturas. Além disso, o sistema provou ser flexível e auto-organizável, com a capacidade de se adaptar às mudanças nas condições ambientais, e adição de novos equipamentos com sensores distintos.

7. REFERÊNCIAS.

ABELÉM, A. J. G. et. al. Redes Mesh: Mobilidade, Qualidade de Serviço e Comunicação em Grupo. Minicurso SBRC, 2007. Disponível em: <<http://www.dcc.ic.uff.br/~celio/papers/minicurso-sbrc07.pdf>>. Acesso em: 15 de outubro de 2023.

ADAFRUIT. BME280 Temperature, Humidity and Pressure Sensor. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/2652>>. Acesso em: 09 de novembro. 2023.

AOSONG. AHT10: High Precision Digital Humidity & Temperature Sensor. Disponível em: <<https://www.aosong.com/en/products-33.html>>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.

ARDUINO E CIA. Módulo Micro SD com Arduino. 2021. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/modulo-micro-sd-com-arduino/>>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

ARDUINO E CIA. Módulo RTC DS1307 com Arduino. 2021. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/modulo-rtc-ds1307-com-arduino/>>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

AXIOS RESEARCH. Condutividade elétrica do solo: importância e aplicações. Disponível em: <https://www.axiosresearch.com/condutividade-solo>. Acesso em: 12 ago. 2024.

BAOSH1. DS1307 Real Time Clock Breakout Board Kit. 2018. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/ds1307-real-time-clock-breakout-board-kit/overview>>. Acesso em: 07 de novembro de 2023.

BAOSH1. Micro SD card tutorial. 2018. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/micro-sd-card-tutorial/overview>>. Acesso em: 07 de novembro de 2023.

BELLWOOD, P. First Farmers: The Origins of Agricultural Societies. Wiley-Blackwell, 2005.

BOSCH. BME280: Integrated Environmental Unit. Disponível em: <<https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>>. Acesso em: 09 de novembro de 2023.

BOSERUP, E. The conditions of agricultural growth: the economics of agrarian change under population pressure. London: Earthscan Publications Ltd, 1965.

BRITTES, M. P. Uma Proposta Para Melhoria de Desempenho do Protocolo Leach para RSSF. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CARVALHO, F. B. S. de et. al. Aplicações Ambientais de Redes de Sensores Sem Fio. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, vol. 2, no 1, 2012. Disponível em: <<http://rtic.com.br/index.php/rtic/article/view/18/17>>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

CASEY, B.; SMITH, K. The impact of mechanization on agriculture. The Bridge on Agriculture and Information Technology, v. 41, n. 3, 2011.

CHERLINKA, V. EOS. Temperatura Do Solo Na Agricultura: Efeitos Na Produtividade, 2021. Disponível em: <<https://eos.com/pt/blog/temperatura-do-solo/>>. Acesso em: 07 de novembro de 2023.

CHILDE, V. G. The dawn of European civilization. London: Kegan Paul, 1950.

CROSBY, A. W. The Columbian exchange: biological and cultural consequences of 1492. Westport, Conn.: Praeger, 2003.

DIAMOND, J. Armas, germes e aço: os destinos das sociedades humanas. Tradução de M. Santarrita. Rio de Janeiro: Record, 1997.

EBSCO Information Services. Citing Articles in ABNT Style. Disponível em: <https://connect.ebsco.com/s/article/Citing-Articles-in-ABNT-Style?language=en_US>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.

EMBRAPA. Artigo: A tecnologia na agricultura. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/338874/artigo-a-tecnologia-na-agricultura>>. Acesso em: 11 de novembro de 2023.

EMBRAPA. Artigo: Irrigação no Brasil: necessidade e opção estratégica. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/338874/artigo-irrigacao-no-brasil-necessidade-e-opcao-estrategica>>. Acesso em: 11 de novembro de 2023.

EMBRAPA. Satélites e drones ajudam a monitorar sistemas de ILPF. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/338874/satelites-e-drones-ajudam-a-monitorar-sistemas-de-ilpf>>. Acesso em: 11 de novembro de 2023.

FERNANDES, D. Nutrição de Safras. Clima e agricultura: Relações e impacto na plantação, 2023. Disponível em: <<https://nutricaodesafras.com.br/clima-e-agricultura>>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

GERK, L. F. Qualidade de Serviço em Redes sem Fio em Malha. Escola de Engenharia – Universidade Federal Fluminense, 2007. Disponível em: <<http://www.midiacom.uff.br/~debora/fsmm/trab-2007-2/qosmesh.pdf>>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

HARRIS, D. R. The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia. UCL Press, 1996.

HARLAN, J. R. Crops and man. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, 1992.

HAYES, M. The future of small farms: innovations for inclusive transformation. Michigan State University, 2022. Disponível em: <<https://www.canr.msu.edu/news/the-future-of-small-farms-innovations-for-inclusive-transformation>>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

JOHNSON, D. L. An environmental history of the Middle Ages: the crucible of nature. Routledge, 2010.

JONES, M. et al. Food globalisation in prehistory. World Archaeology, v. 43, n. 4, p. 665-675, 2011.

LARAZZOTO, P. Algoritmos de Roteamento Hierárquico em Redes de Sensores Sem Fio Utilizando Algoritmos Evolutivos para Determinação de Cluster-Head's. Dissertação de Mestrado em Ciências – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LEE, Edwin van. PainlessMesh. 2023. Disponível em: <<https://github.com/gmag11/painlessMesh>>. Acesso em: 14 de outubro de 2023.

LIEBERT, R. et al. Mechanizing agriculture: impacts on labor and productivity. CEGA, 2022.

LOUREIRO, A. A. F. Redes de Sensores Sem Fio. Grandes Desafios da Pesquisa em Computação para o Período 2006-2016. Disponível em:

<http://ic.unicamp.br/~cmbm/desafios_SBC/loureiroredesensores.pdf>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

MARTIN, G. J. Ethnobotany: A methods manual. Routledge, 2017.

MAXIM INTEGRATED. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Disponível em:

<<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.

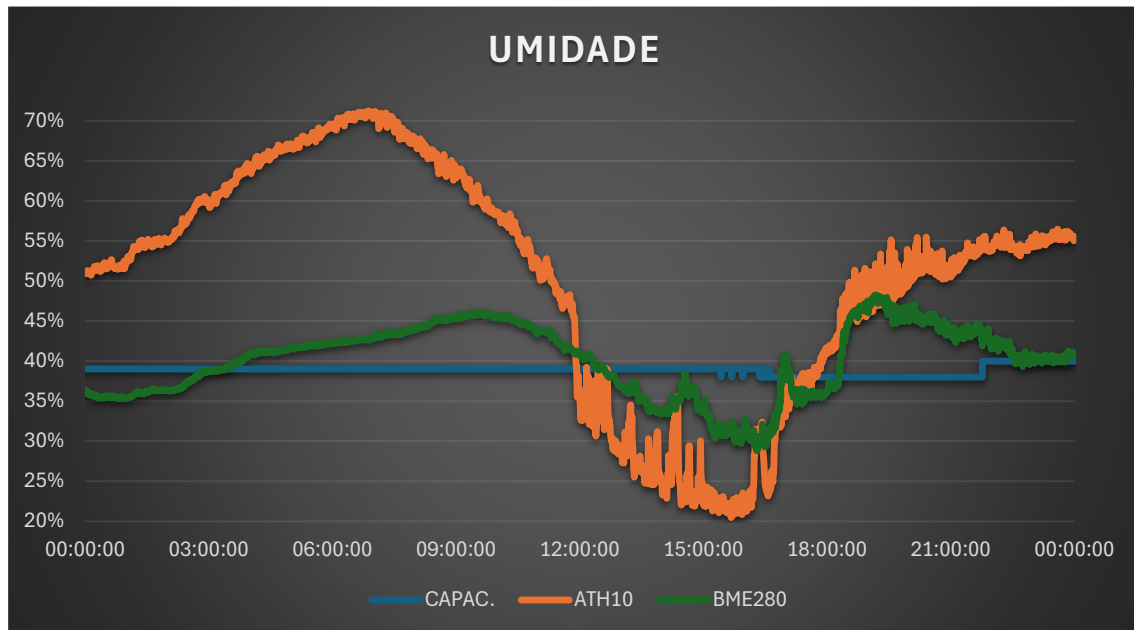
PAINLESSMESH / painlessMesh. GitLab. Disponível em: <<https://gitlab.com/painlessMesh/painlessMesh>>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

Painless Mesh - Arduino Reference. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/painless-mesh/>>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

Revista Brasileira de Zootecnia. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbz/a/abcdeFGHIJ/?lang=pt>>. Acesso em: 11 de novembro de 2023.

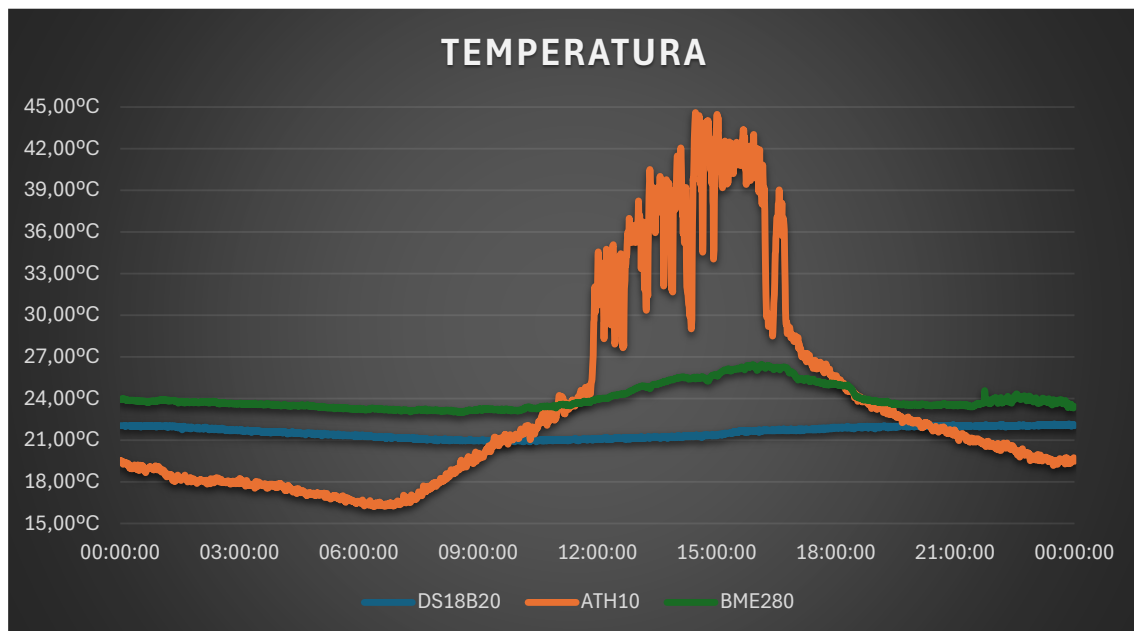
8. APÊNDICE DE IMAGENS.

Figura 26 – Umidade vs. Tempo



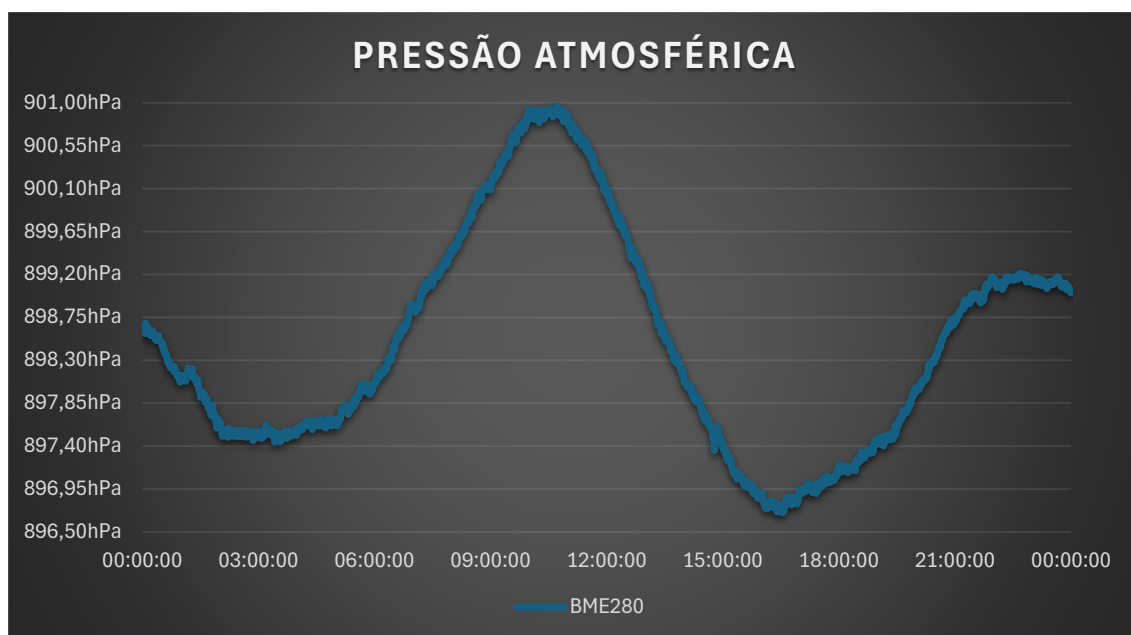
Fonte: Autor.

Figura 27 – Temperatura vs. Tempo



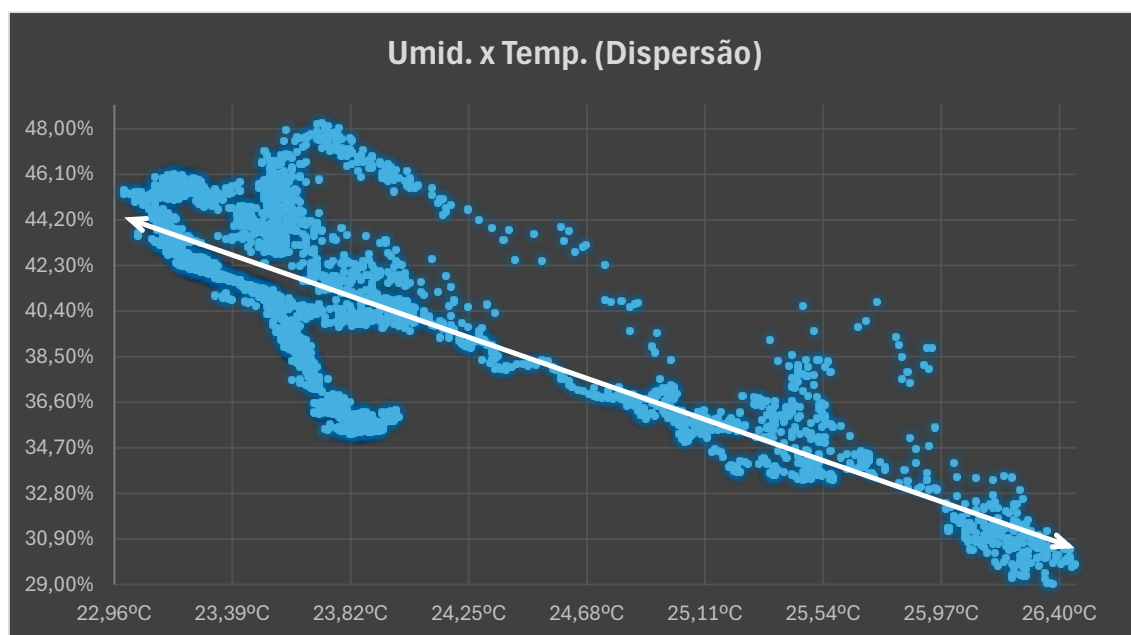
Fonte: Autor.

Figura 28 – Pressão atmosférica vs. Tempo



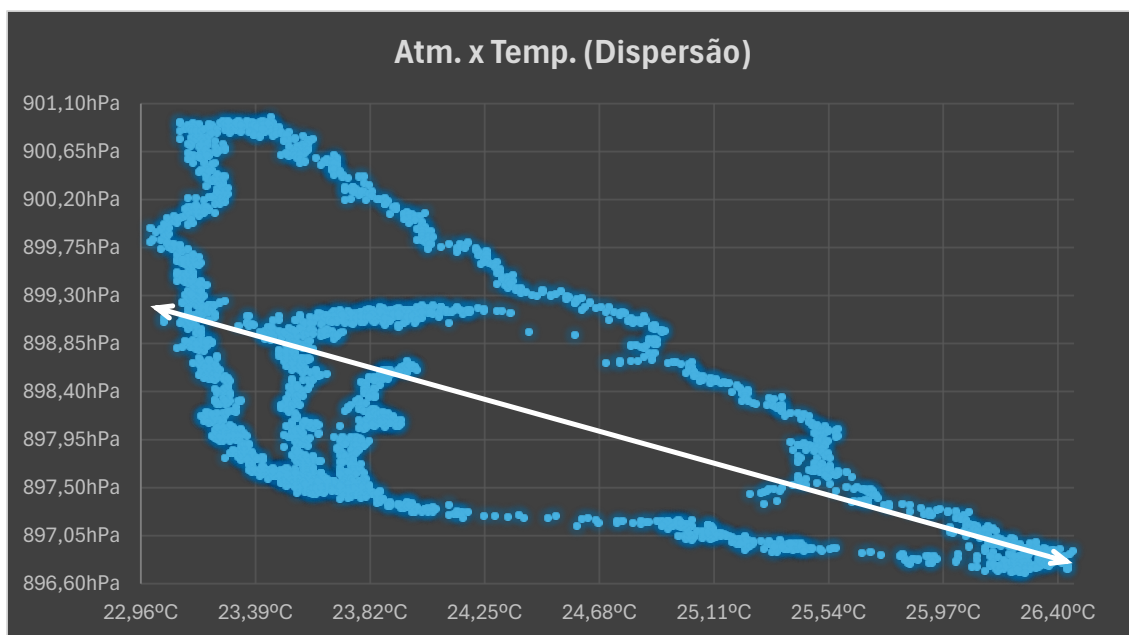
Fonte: Autor.

Figura 29 – Dispersão umidade vs. Temperatura.



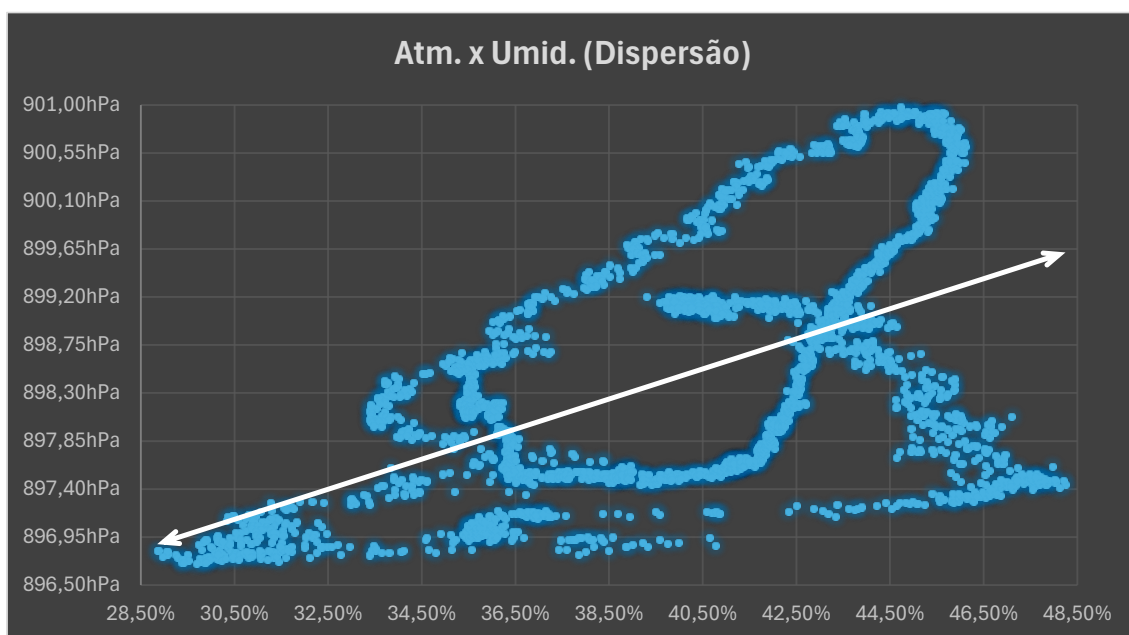
Fonte: Autor.

Figura 30 – Dispersão pressão atmosférica vs. Temperatura.



Fonte: Autor.

Figura 31 – Dispersão pressão atmosférica vs. Umidade.



Fonte: Autor.