



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**LUCAS CARDOSO CABRAL**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE SENSORES METEOROLÓGICOS DE BAIXO  
CUSTO PARA TRATORES AGRÍCOLAS**

**FORTALEZA**

**2025**

LUCAS CARDOSO CABRAL

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE SENSORES METEOROLÓGICOS DE BAIXO CUSTO  
PARA TRATORES AGRÍCOLAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro

Coorientadora: Me. Mayara Rodrigues Uchoa

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C119a Cabral, Lucas Cardoso.  
Avaliação comparativa de sensores meteorológicos de baixo custo para tratores agrícolas / Lucas Cardoso Cabral. – 2025.  
70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva.  
Coorientação: Profa. Ma. Mayara Rodrigues Uchoa.

1. Sensores. 2. Arduino. 3. Tratores. I. Título.

CDD 630

---

LUCAS CARDOSO CABRAL

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE SENSORES METEOROLÓGICOS DE BAIXO CUSTO  
PARA TRATORES AGRÍCOLAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Agronomia do Centro  
de Ciências Agrárias da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
grau de bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 11/03/2025

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro  
(Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Mayara Rodrigues Uchoa (Coorientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Alessandro Marques Maia  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

---

Dra. Isabela Oliveira Lima  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais e avós.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro por acreditar no meu trabalho e me orientar em minha tese de conclusão de curso.

A Prof. Me. Mayara Rodrigues Uchoa, que foi o elo mais forte que eu tive nessa reta final de conclusão de curso.

Aos meus pais, que sempre me deram forças incondicionais pra seguir em frente.

Aos meus avós.

A minha falecida avó Maria Iris, obrigado por tudo.

Aos locais onde tive a oportunidade de trabalhar e engrandecer meu currículo ao decorrer desses anos de graduação, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas, Laboratório Multiusuário de Química de Produtos Naturais e o Departamento de Engenharia Agrícola.

Aos meus amigos, familiares e colegas de curso.

*"Somos nós, os vivos, que podemos lembrar.  
Morremos aqui e confiamos o significado aos  
próximos vivos. Essa é a única maneira de  
resistir a este mundo cruel."*

(Erwin Smith)

## RESUMO

O uso de sensores e microcontroladores de baixo custo em máquinas agrícolas tem levado destaque como alternativa viável para o monitoramento agrícola, principalmente para dados meteorológicos. Objetivou-se, com o trabalho realizado, comparar o desempenho de sensores de baixo custo em operação, verificando sua eficiência e precisão na coleta de dados em um trator agrícola em movimento e parado. O experimento foi feito com 6 sensores meteorológicos do arduíno, DHT11, DHT22, AHT10, AHT25, HTUD21 e BME280, com estes conectados a um Arduino, foram realizadas leituras com dois conjuntos de equipamentos, um destes em cima do trator parado e outro com o trator em movimento. Foram utilizados 8 tratamentos para cada conjunto, sendo 4 realizados às 15 horas e 4 às 17h. Foi possível observar que alguns sensores conseguiram ter leituras iguais com o seu par e também foi possível analisar os gráficos para maior compreensão do comportamento dos sensores para análises em trabalhos futuros.

**Palavras-chave:** Sensores. Microcontroladores. Arduíno. Tratores.

## ABSTRACT

The use of low-cost microcontrollers in agricultural machinery has stood out as a viable alternative for agricultural monitoring, especially for meteorological data. The objective of this study was to compare the performance of low-cost sensors in operation, verifying their efficiency and accuracy in data collection on an agricultural tractor in motion and stationary. The experiment was carried out with six Arduino meteorological sensors: DHT11, DHT22, AHT10, AHT25, HTUD21, and BME280. These were connected to an Arduino, and readings were taken with two sets of equipment—one placed on the stationary tractor and the other on the tractor in motion. Eight treatments were used for each set, with four performed at 3 p.m. and four at 5 p.m. It was observed that some sensors showed identical readings to their pair, and the graphs allowed a better understanding of the sensor behavior for future analysis.

**Keywords:** Sensors. Microcontrollers. Arduino. Tractors.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Projeção do mercado global de agricultura de precisão . . . . .	18
Figura 2 –	Exemplo de sensor de temperatura e umidade, Modelo DHT11 . . . . .	20
Figura 3 –	Variáveis lidas pela Estação Meteorológica Ambient Weather WS-2000 c . . . . .	21
Figura 4 –	Exemplo de Pulverização com Bicos . . . . .	22
Figura 5 –	ESP32 . . . . .	25
Figura 6 –	Arduino . . . . .	26
Figura 7 –	Estação meteorológica inteligente WS-2902. . . . .	28
Figura 8 –	Valores de um sistema de baixo custo e um sistema convencional. . . . .	29
Figura 9 –	Sensor de Temperatura e Umidade DHT22 . . . . .	31
Figura 10 –	Sensor de Temperatura e Umidade AHT10 . . . . .	32
Figura 11 –	Sensor de Temperatura e Umidade AHT25 . . . . .	32
Figura 12 –	Sensor de Temperatura e Umidade BME280 . . . . .	33
Figura 13 –	Sensor de Temperatura e Umidade HTU21D . . . . .	34
Figura 14 –	Datasheet com as especificações dos sensores de temperatura e umidade utilizados no trabalho . . . . .	34
Figura 15 –	Estrutura de Arduino Utilizada . . . . .	35
Figura 16 –	Painel de marchas do trator BME120. . . . .	36
Figura 17 –	Teste de velocidade real. . . . .	37
Figura 18 –	Gráfico de Temperatura do BME280 as 15h. . . . .	41
Figura 19 –	Gráfico de Temperatura do BME280 as 17h . . . . .	41
Figura 20 –	Gráfico de Temperatura do AHT10 as 15h. . . . .	42
Figura 21 –	Gráfico de Temperatura do AHT10 as 17h. . . . .	43
Figura 22 –	Gráfico de Temperatura do AHT25 as 15h. . . . .	44
Figura 23 –	Gráfico de Temperatura do AHT25 as 17h. . . . .	44
Figura 24 –	Gráfico de Temperatura do HTUD21 as 15h. . . . .	45
Figura 25 –	Gráfico de Temperatura do HTUD21 as 17h. . . . .	46
Figura 26 –	Gráfico de Temperatura do DHT11 as 15h. . . . .	47
Figura 27 –	Gráfico de Temperatura do DHT11 as 17h. . . . .	47
Figura 28 –	Gráfico de Temperatura do DHT22 as 15h. . . . .	48
Figura 29 –	Gráfico de Temperatura do DHT22 as 17h. . . . .	48
Figura 30 –	Gráfico de umidade do BME280 as 15h. . . . .	49

Figura 31 – Gráfico de umidade do BME280 as 17h. . . . .	50
Figura 32 – Gráfico de umidade do AHT10 as 15h. . . . .	51
Figura 33 – Gráfico de umidade do AHT10 as 17h. . . . .	51
Figura 34 – Gráfico de umidade do AHT25 as 15h. . . . .	52
Figura 35 – Gráfico de umidade do AHT25 as 17h. . . . .	53
Figura 36 – Gráfico de umidade do HTDU21 as 15h. . . . .	54
Figura 37 – Gráfico de umidade do HTDU21 as 17h. . . . .	54
Figura 38 – Gráfico de umidade do DHT11 as 15h. . . . .	55
Figura 39 – Gráfico de umidade do DHT11 as 17h. . . . .	55
Figura 40 – Gráfico de umidade do DHT22 as 15h. . . . .	56
Figura 41 – Gráfico de umidade do DHT22 as 17h. . . . .	57
Figura 42 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor BME280 . . . . .	58
Figura 43 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor AHT10 . . . . .	59
Figura 44 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor AHT25 . . . . .	60
Figura 45 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor HTU21D . . . . .	61
Figura 46 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor DHT11 . . . . .	62
Figura 47 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor DHT22 . . . . .	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de tratamentos e marchas utilizadas . . . . .	36
Tabela 2 – Tabela do teste de velocidade real . . . . .	38
Tabela 3 – Horário das primeiras leituras . . . . .	38
Tabela 4 – Horário das segundas leituras . . . . .	38

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

*AP* *Agricultura de Precisão*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Agricultura de precisão</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1</b>	<i>Sensores</i>	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<i>Sensores agrometeorológicos</i>	<b>20</b>
<b>2.1.3</b>	<i>Tecnologia de Aplicação</i>	<b>22</b>
<b>2.1.4</b>	<i>Sensores em Máquinas Agrícolas</i>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Microcontroladores</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Sensores Comerciais X Sensores de Baixo Custo</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Localização e Descrição do Experimento</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Sensores Utilizados</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Montagem do Circuito</b>	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Condução do experimento</b>	<b>35</b>
<b>3.5</b>	<b>Aquisição de dados meteorológicos</b>	<b>38</b>
<b>3.6</b>	<b>Análise estatística</b>	<b>39</b>
<b>3.7</b>	<b>Análise de amplitude</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Demonstração de Resultados</b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Resultados estatístico das leituras dos sensores em temperatura</b>	<b>40</b>
<b>4.2.1</b>	<i>BME280</i>	<b>40</b>
<b>4.2.2</b>	<i>AHT10</i>	<b>42</b>
<b>4.2.3</b>	<i>AHT25</i>	<b>43</b>
<b>4.2.4</b>	<i>HTUD21</i>	<b>45</b>
<b>4.2.5</b>	<i>DHT11</i>	<b>46</b>
<b>4.2.6</b>	<i>DHT22</i>	<b>48</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados das leituras dos sensores em umidade</b>	<b>49</b>
<b>4.3.1</b>	<i>BME280</i>	<b>49</b>
<b>4.3.2</b>	<i>AHT10</i>	<b>50</b>
<b>4.3.3</b>	<i>AHT25</i>	<b>52</b>

4.3.4	<i>HTUD21</i> . . . . .	53
4.3.5	<i>DHT11</i> . . . . .	55
4.3.6	<i>DHT22</i> . . . . .	56
4.4	<b>Resultados de amplitude dos dados de temperatura e umidade para os sensores meteorológicos</b> . . . . .	57
4.4.1	<i>BME280</i> . . . . .	58
4.4.2	<i>AHT10</i> . . . . .	59
4.4.3	<i>AHT25</i> . . . . .	60
4.4.4	<i>HTU21D</i> . . . . .	61
4.4.5	<i>DHT11</i> . . . . .	62
4.4.6	<i>DHT22</i> . . . . .	63
5	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	64
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	65
	<b>APÊNDICES</b> . . . . .	68
	<b>APÊNDICE A – Códigos-fontes utilizados para captar os dados meteorológicos dos sensores no programa Arduino ide</b> . . . . .	68
	<b>ANEXOS</b> . . . . .	71

## 1 INTRODUÇÃO

A *Agricultura de Precisão* (AP) virou uma realidade quando se trata da busca por maior produtividade em áreas agrícolas, onde o Engenheiro Agrônomo vê na tecnologia uma saída para baixar custos, aumentar ganhos e tecnificar a sua cadeia produtiva. Para estruturar a AP, é necessário obter dados que sejam precisos, de fácil leitura e em tempo real, onde o profissional pode tomar decisões assertivas que tem impacto direto na sua produção final. A melhor forma de obter estes dados é a utilização de sensores meteorológicos, que permitem o monitoramento de variáveis ambientais que auxiliam o produtor na tomada de decisão, como por exemplo temperatura e umidade, que afetam diretamente o desenvolvimento das culturas, o controle de irrigação, o manejo de doenças e pragas, além de otimizar o uso de insumos e recursos.

No entanto o alto custo dos sensores comerciais pode limitar sua adoção por produtores rurais que não tem condições de adquiri-los. Dispositivos alternativos de baixo custo surgem como uma possibilidade para viabilizar o acesso às ferramentas de monitoramento climático. No entanto, há uma incerteza quanto à eficácia dos sensores a serem utilizados, principalmente no quesito confiabilidade das medições. Diante deste cenário, é imprescindível verificar se as leituras realizadas por equipamentos de baixo custo oferecem qualidade suficiente para serem utilizados na AP.

A não alienação da tecnologia agrícola é um direito do pequeno e médio produtor, além destes sensores de baixo custo servirem como uma opção para produções em larga escala buscar tornar os preços dos seus produtos mais competitivos dentro do mercado. Garantir o acesso a essas ferramentas contribui para reduzir as desigualdades na cadeia produtiva e promover a sustentabilidade econômica nas diferentes escalas de produção.

Em vista da importância da utilização de sensores agrícolas de baixo custo, torna-se necessário a validação destes, testar sua eficiência e com isso viabilizar a aquisição de dados meteorológicos locais. Testes que são feitos com o intuito de verificar que os mesmos funcionem nas adversas situações, compreendendo se trazem acurácia nas suas leituras até mesmos nas situações de campo que o profissional pode vir a enfrentar, com ventos, chuvas e diferentes temperaturas ao longo do dia.

Objetivou-se neste trabalho avaliar comparativamente sensores meteorológicos de baixo custo, que possam ser incorporados em estações meteorológicas móveis acopladas a tratores agrícolas, medindo as variáveis de temperatura e umidade de maneira eficaz, investigando

se estes podem fornecer dados com acurácia na operação de uma máquina agrícola, para serem utilizados comercialmente, buscando determinar se são capazes de medir as variáveis de temperatura e umidade de maneira precisa e eficaz mesmo com trepidações, ventos, e diferentes velocidades, para executarmos essa avaliação foram utilizadas duas estações meteorológicas montadas manualmente utilizando um microprocessador arduino, e 6 sensores de temperatura e umidade acopladas a ela, esses sensores de temperatura e umidade são o BME280, AHT10, AHT25, HTU21D, DHT11 e DHT22, sensores que são considerados de baixo custo. As duas estações montadas foram colocadas uma em um trator em movimento e outra no trator parado, para que pudessemos entender se as leituras no trator em movimento iriam demonstrar diferenças significativas do trator parado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Agricultura de precisão

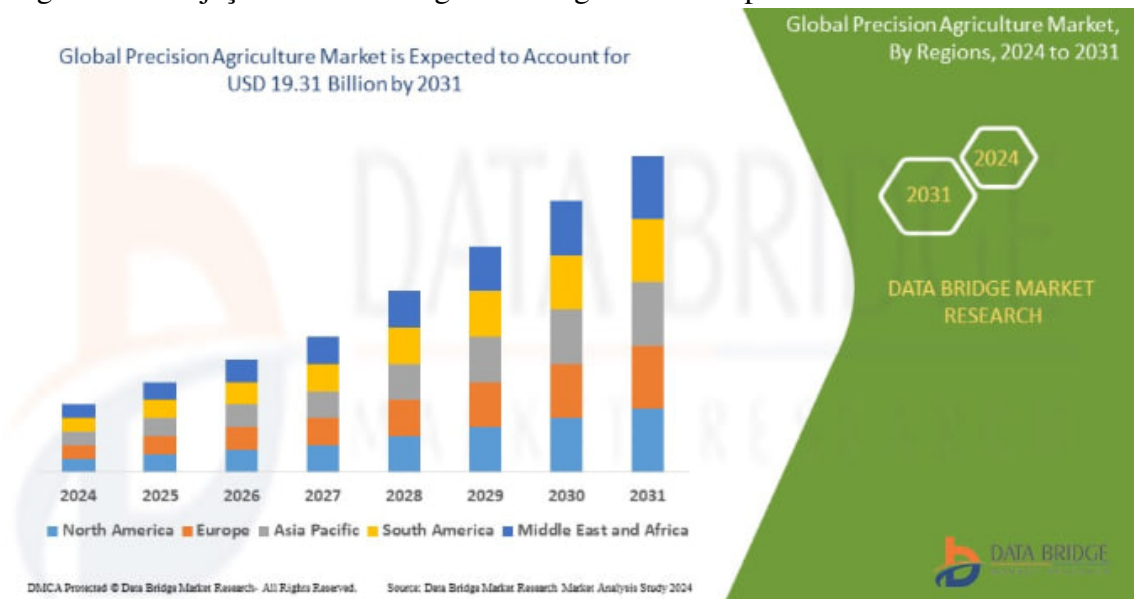
A agricultura de precisão é o somatório de tecnologias e técnicas que permitem o manejo com maior riqueza de informações das lavouras, considerando inúmeras variáveis do solo e do clima. Com o uso de GPS, sensores e drones, os técnicos e agrônomos podem tomar decisões mais assertivas, reduzindo desperdícios e aumentando a produtividade. Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), com a utilização da agricultura de precisão, o produtor rural, seja pequeno, médio ou grande, consegue ter um aumento de até 29% na produtividade e uma redução média de 23% nos gastos com insumos. Além desses benefícios, a produção passa a ser mais sustentável a partir do uso racional de fertilizantes e produtos fitossanitários (ABREU, 2021).

Uma grande importância dessa tecnologia está na otimização dos recursos. A partir do mapeamento detalhado do solo e das condições do espaço, é possível aplicar fertilizantes, defensivos e também irrigar de forma localizada, atendendo às necessidades específicas de cada área. Isso pode reduzir consideravelmente os impactos ambientais e vem a melhorar a sustentabilidade da produção.

A Agricultura de Precisão permite a identificação e o gerenciamento da variabilidade espacial do solo por meio da criação de Zonas de Manejo (ZMs), facilitando a aplicação localizada de insumos agrícolas. Sensores proximais, como o EM38®, têm sido amplamente utilizados para mensurar a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), parâmetro que se correlaciona com atributos como textura, umidade, capacidade de troca catiônica (CTC) e teor de matéria orgânica (OLIVEIRA, 2022).

De acordo com dados mais recentes, o mercado global de Agricultura de Precisão (AP) tem apresentado um crescimento significativo. Estima-se que o tamanho do mercado tenha atingido US\$ 7,06 bilhões em 2023 e projeta-se que alcance US\$ 19,31 bilhões até 2031, com uma taxa de crescimento anual composta de 13,40% durante o período de 2024 a 2031. (RESEARCH, 2024).

Figura 1 – Projeção do mercado global de agricultura de precisão



Fonte: Data Bridge Market Research (2024)

Já quando falamos de semiárido brasileiro, a agricultura de precisão vem se mostrando essencial para a adaptação às dificuldades climáticas e à gestão sustentável dos recursos naturais. A escassez da água e a baixa fertilidade dos solos são desafios que demandam um manejo eficiente dos recursos. Tecnologias como irrigação de precisão, sensores de umidade e mapas de produtividade são ferramentas estratégicas utilizadas para otimizar o uso de água e insumos, garantindo a viabilidade econômica e a sustentabilidade a longo prazo. Nesse contexto, a adoção de tecnologias emergentes, como drones, tem se expandido, proporcionando um monitoramento ambiental preciso e contínuo, permitindo a detecção precoce de problemas que podem afetar a produção agrícola (Souza, 2024). As soluções tecnológicas integradas, incluindo o uso de drones para mapeamento de áreas e monitoramento de condições ambientais, têm contribuído para a ampliação da produção agrícola no Sertão Nordestino, ao mesmo tempo em que asseguram práticas mais sustentáveis, favorecendo a preservação dos ecossistemas e a conservação da biodiversidade (SOUZA; CAVALCANTI, 2024).

Assim, a agricultura de precisão representa uma revolução no campo, promovendo um uso necessário dos recursos existentes visto a crise ambiental dos dias de hoje, aumentando a produtividade, garantindo maior rentabilidade para os produtores e maior sustentabilidade das terras. No semiárido, sua aplicação é ainda mais estratégica, permitindo que a agricultura se desenvolva mesmo em condições adversas, contribuindo para a segurança alimentar da população local e o fortalecimento da economia local.

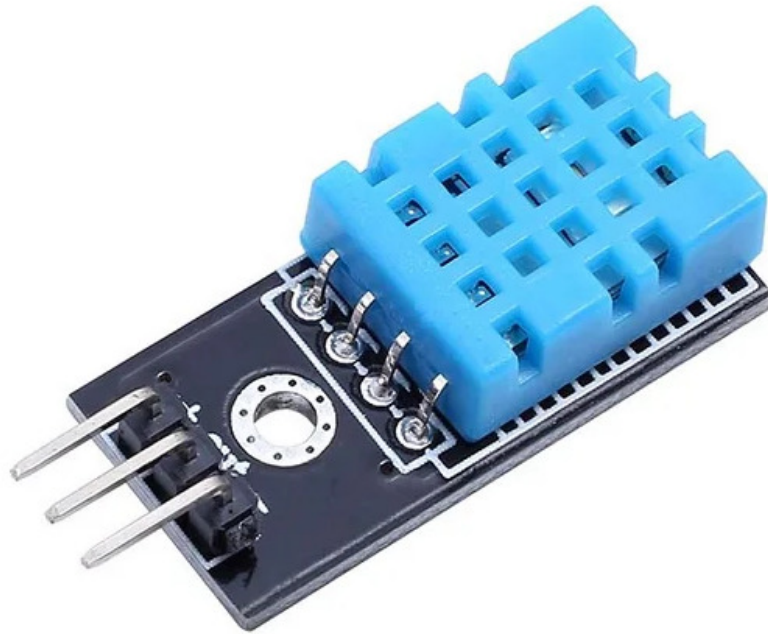
### **2.1.1 Sensores**

Sensores são dispositivos capazes de detectar e responder a mudanças no ambiente, como variações de temperatura, pressão, luz, movimento ou umidade, ou seja, este é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente que relaciona informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (WENDLING, 2010). Eles têm funcionamento com base em princípios físicos ou químicos, convertendo esses estímulos em sinais elétricos ou digitais que podem ser interpretados por sistemas eletrônicos. Por exemplo, um sensor de temperatura pode utilizar a variação da resistência elétrica de um material em resposta ao calor, enquanto um sensor de movimento pode empregar ondas ultrassônicas ou infravermelhas para detectar deslocamentos.

Esses sinais são processados por microcontroladores ou outros sistemas, permitindo a automação e o monitoramento de processos em tempo real. Presentes em diversos equipamentos, como por exemplo smartphones, máquinas agrícolas, máquinas industriais etc.

Existem diversos sensores utilizados no mercado, para diversas finalidades, cada um com uma aplicação específica para a necessidade de uso daquele equipamento, temos exemplos como por exemplo os sensores de localização (GPS) que são usados para fornecer coordenadas geográficas, permitindo o mapeamento de áreas e a aplicação precisa de insumos. Os sensores capacitivos são tipos de sensores utilizados que avaliam a umidade do solo, permitem um controle eficiente da irrigação e a tomada de decisão se o trator vai a campo ou não. Além disso, os sensores ópticos analisam a luz refletida pelas plantas, monitorando sua saúde e detectando doenças ou pragas.

Figura 2 – Exemplo de sensor de temperatura e umidade, Modelo DHT11



Fonte: Autocore Robótica (2025)

Atualmente, o mundo avançou tanto que muitos processos essenciais dependem de dados de sensores. Eles são utilizados em residências, shopping centers e hospitais (JAVAID, 2021). Fica até difícil dizer onde começa e onde termina a atuação dos sensores nos dias de hoje, tendo em vista a vastidão e importância dos mesmos. Sensores se tornaram indispensáveis na vida moderna. Se você está lendo isso em um computador, provavelmente está usando um mouse óptico. Telas sensíveis ao toque detectam cada toque nos smartphones (JAVAID *et al.*, 2021).

### **2.1.2 Sensores agrometeorológicos**

Os sensores agrometeorológicos são usados para monitorar e adquirir dados sobre variáveis climáticas e ambientais que são necessárias para a produção agrícola. Como por exemplo poder visualizar em tempo real dados climáticos que auxiliam no monitoramento e na resposta ao aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como secas, chuvas intensas, inundações e temperaturas extremas (IDBELLA *et al.*, 2020). Desempenham um papel no fornecimento de informações precisas e em tempo real para os agricultores, auxiliando na

tomada de decisões sobre manejo de culturas, irrigação, controle de pragas e doenças, também cooperando no uso da tecnologia de aplicação. Ao integrar dados de clima e solo, os sensores agrometeorológicos podem melhorar a eficiência, eficácia e a sustentabilidade da agricultura, otimizando o uso de recursos naturais e aumentando a produtividade.

Existem diversos tipos de sensores agrometeorológicos, no mercado podemos encontrar diversos como por exemplo GPS (GPS PORTATIL GARMIN ETREX SE), também podemos encontrar produtos que somam duas tecnologias como é o caso do Termo-Luxímetro Digital Hobo com Data Logger MX2202, este que é um dispositivo que mede temperatura e luminosidade do local e também temos o caso de ter estações meteorológicas inteiras a venda, combinando elementos que são da necessidade do produtor e do cliente como por exemplo a Estação Meteorológica Ambient Weather WS-2000 com inúmeros recursos que serão demonstrados na Figura 4. São extremamente diversos os produtos relacionados a estes sensores, demonstrando assim o quanto o mercado é aquecido e o quanto o produtor carece desse tipo de tecnologia. Os exemplos de produtos mencionados acima foram retirados do catálogo da Agro Sensores.

Figura 3 – Variáveis lidas pela Estação Meteorológica Ambient Weather WS-2000 c



Fonte: Agrosensores (2025)

A urgência da utilização dos sensores agrometeorológicos cresce cada vez mais, principalmente em vista dos desafios impostos pelas mudanças que estão acontecendo nos últimos tempos no nosso planeta e pela necessidade de uma agricultura mais eficiente e sustentável. Além disso, esses sensores são a ponta dos estudos com a agricultura de precisão, tendo em vista que toda a cadeia de dados essenciais a serem analisadas e monitoradas começam neles.

### 2.1.3 Tecnologia de Aplicação

Tecnologia de Aplicação é a utilização dos conhecimentos científicos que proporcionem a correta colocação do produto biologicamente ativo no alvo, na quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de contaminação de outras áreas (CONTIERO *et al.*, 2018). Essa prática é fundamental para a agricultura, já que permite o controle e prevenção de pragas, doenças e plantas daninhas, além de promover o uso eficiente dos recursos e a sustentabilidade das atividades agrícolas.

O processo de aplicação envolve o uso de equipamentos como pulverizadores, que distribuem os produtos utilizando-os de maneira assertiva. A calibração dos equipamentos, o ajuste da pressão, a velocidade de aplicação e a escolha do tipo de bico são fatores essenciais para garantir que a dose de produto aplicada seja a correta. As condições climáticas também são elementos que devem ser monitorados e relacionados diretamente com o tema, uma vez que ventos ou chuvas podem comprometer a eficácia da aplicação.

A escolha do bico de pulverização influencia o tamanho das gotas e a deriva do produto. Bicos inadequados podem gerar gotas muito pequenas, aumentando a dispersão pelo vento e reduzindo a deposição no alvo desejado. Eles representam a parte mais importante do pulverizador (AZEVEDO; FREIRE, 2006). A correta regulagem da pressão, o ajuste da altura da barra de pulverização e a velocidade de deslocamento da máquina são necessários para uma aplicação econômica, uniforme e eficiente. A deriva pode ser minimizada usando-se técnicas e métodos de aplicação adequados, limpeza e regulagem do equipamento, aplicação em condições climáticas adequadas e/ou uso de formulação apropriada.

Figura 4 – Exemplo de Pulverização com Bicos



Fonte: Agro Receita (2024)

A pulverização deve ser realizada na quantidade necessária, evitando desperdícios e prevenindo a contaminação de áreas vizinhas. Para isso, a calibração do pulverizador deve ser realizada periodicamente, garantindo que o volume de calda aplicado por hectare esteja dentro das recomendações do fabricante do produto. Além disso, é essencial que as condições climáticas sejam favoráveis, evitando aplicações sob vento forte, altas temperaturas ou baixa umidade relativa, que podem comprometer a eficácia do tratamento. O ponto fundamental para o sucesso nas aplicações é a correta regulagem, assim como a manutenção das máquinas aplicadoras. De nada vale adquirir o melhor produto se, quando utilizá-lo, falta conhecimento e não se tira proveito de suas vantagens (CONTIERO *et al.*, 2018).

O aplicador deve utilizar Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados para reduzir a exposição aos defensivos agrícolas e garantir sua segurança durante o trabalho, independente se o mesmo está aplicando com um pulverizador costal ou em cima de um trator. A adoção das Boas Práticas Agrícolas, aliada à tecnologia de aplicação, contribui para uma produção mais sustentável, eficiente e econômica, reduzindo impactos ambientais e maximizando os resultados de produtividade com o controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

#### **2.1.4 Sensores em Máquinas Agrícolas**

Sensores em máquinas agrícolas são utilizados para elucidar a vida do operador e buscar baratear o custo de produção que tem um papel determinante no valor do produto final. Sensores que podem ser utilizados no monitoramento ambiental, monitoramento meteorológico, monitoramento ambiental geo-referenciado, irrigação de precisão etc. (WANG *et al.*, 2006).

Sensores que vão operar dentro do trator e também nos implementos, buscando a maior eficiência de material utilizado como por exemplo combustível e defensivos, Coelho *et al.* (2022) diz que tirando os custos de juros e depreciação, em uma máquina agrícola o maior custo é o combustível utilizado. No uso de defensivos o problema vem além do gasto com o produto, também temos o problema de deriva, onde (CUNHA *et al.*, 2025) diz que a velocidade do vento pode impactar diretamente no efeito da deriva, problema esse que poderia ser solucionado ao obter os dados em tempo real pelos sensores e adaptar os bicos para estes regularem o tamanho das gotas tendo em vista que vários pesquisadores consideram que gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  são facilmente carregadas pelo vento, sofrendo mais intensamente a ação dos fenômenos climáticos (WOLF, 2000).

À medida que os sensores se proliferam rapidamente em uma ampla variedade de

aplicações e indústrias, o custo dos sensores tem diminuído continuamente. A tendência recente de desenvolver novos padrões com o apoio de alianças industriais tem ajudado significativamente a indústria a avançar para sistemas sem fio de menor custo e maior funcionalidade (WANG *et al.*, 2006).

A gestão agrícola moderna depende fortemente de diversas metodologias de sensoriamento para fornecer informações precisas sobre as condições de culturas, solo, clima e meio ambiente. Quase todas as técnicas de sensoriamento podem encontrar uma aplicação na agricultura e na indústria alimentícia (LI *et al.*, 2004).

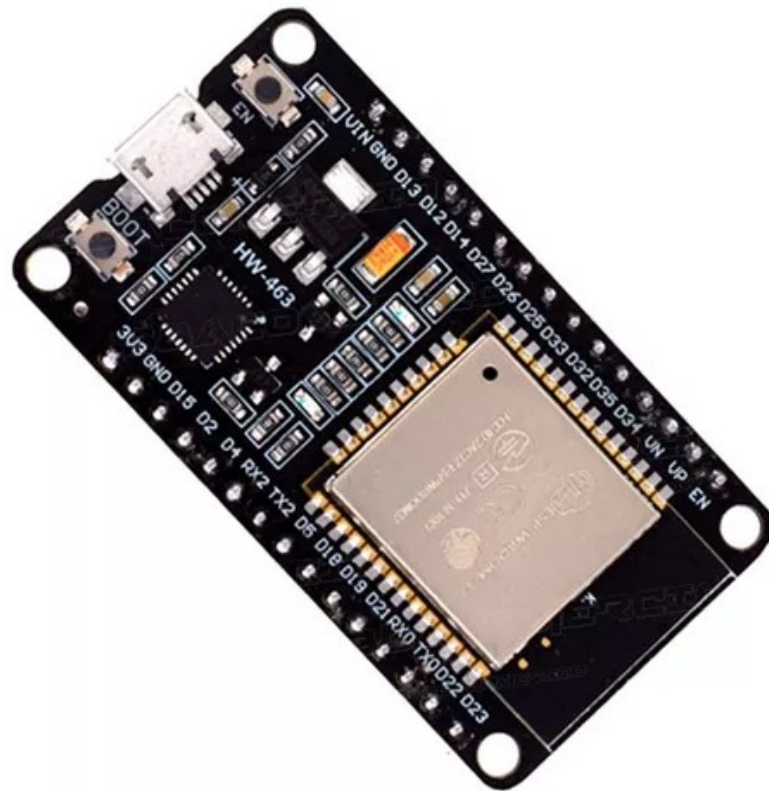
Além do barateio dos custos, os sensores em máquinas agrícolas também tem a funcionalidade de prevenir acidentes, (SANTOS, 2022) destacam que muitos acidentes podem ser evitados em máquinas com dispositivos de segurança integrados.

## **2.2 Microcontroladores**

Os microcontroladores são dispositivos eletrônicos programáveis que atuam como pequenas unidades de processamento para controlar sistemas embarcados. Eles integram em um único chip processador, memória e interfaces de entrada e saída, sendo amplamente utilizados em projetos de automação e prototipagem, exemplos destes são o ESP32 e o Arduino.

O ESP32 é um microcontrolador que possui alta integração, desenvolvido pela Espressif Systems, que combina conectividade Wi-Fi e Bluetooth em um único chip, ideal para aplicações. Ele é amplamente utilizado devido ao seu baixo consumo de energia, capacidade de comunicação sem fio e suporte a múltiplos protocolos. Segundo (PASIC *et al.*, 2021), o ESP32 se destaca pela robustez na aquisição de dados em ambientes sem infraestrutura de rede local, possibilitando a comunicação entre sensores e dispositivos através do protocolo ESP-NOW, sem necessidade de conexão contínua à rede Wi-Fi.

Figura 5 – ESP32

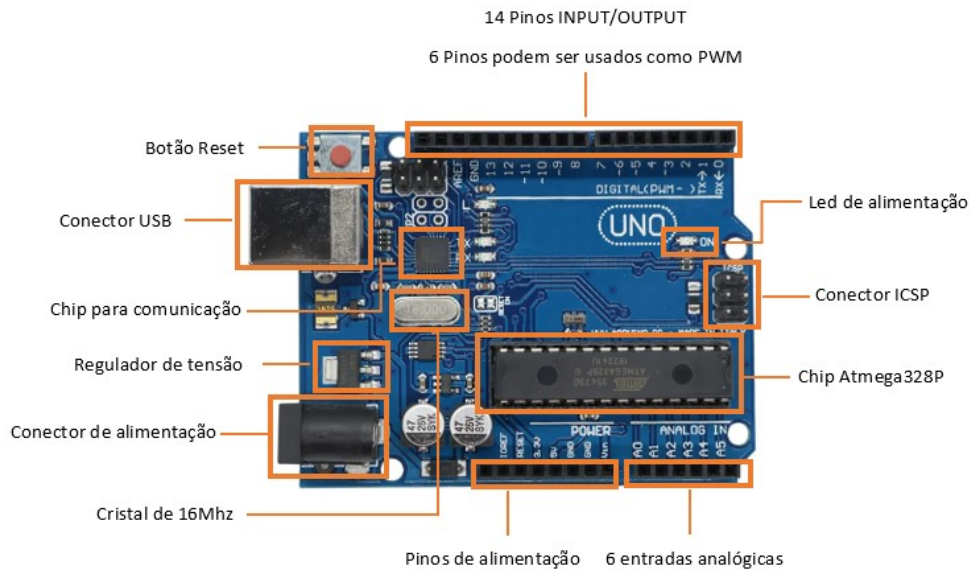


Fonte: Amazon (2025)

O Arduino é uma plataforma de código aberto com hardware e software de fácil programação, ideal para iniciantes e protótipos simples. Já o ESP32 é mais avançado, com conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada, maior capacidade de processamento e consumo energético eficiente, sendo preferido para aplicações em Internet das Coisas.

O Arduino é um computador que se programa para processar entradas e saídas entre dispositivo e os componentes externos conectados a ele. É uma plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e programa (MCROBERTS, 2011).

Figura 6 – Arduino



Fonte: STA Eletronica (2025)

A Placa Arduino consiste em uma plataforma de microcontrolador de código aberto e linguagem padrão baseada em C/C++ e em softwares e hardwares livres, permitindo seu uso como gerenciador automatizado de dispositivos de aquisição de dados de sensores de entrada e de saída (MARTINAZZO *et al.*, 2014). Da parte de software, utiliza-se o Arduino IDE, um ambiente de desenvolvimento que permite a programação da escrita em JAVA. Nele, escrevem-se códigos, que são compilados e enviados para o microcontrolador, possibilitando a interação com os sensores e atuadores conectados.

O Arduino se destaca de outras plataformas por ser multiplataforma, funcionando em Windows, macOS e Linux. Baseado no IDE Processing, é de fácil uso e acessível para artistas e designers. Pode ser programado via USB, dispensando portas seriais. Sendo open source, permite a reprodução do hardware sem custos adicionais. Além de ser acessível financeiramente, conta com uma comunidade ativa de suporte. Criado para fins educacionais, é ideal para iniciantes que buscam resultados rápidos (BANZI, 2012).

O ESP32 apresenta como principal vantagem a integração de Wi-Fi e Bluetooth, permitindo maior conectividade em aplicações e com baixo consumo de energia. Já o Arduino se destaca pela simplicidade de uso e pela ampla documentação disponível, facilitando o aprendizado para as pessoas que estão querendo iniciar a manipular a ferramenta, diferenciando-se do ESP32 neste quesito, que pode ter por vezes mais árdua a manipulação e usabilidade do equipamento. Como disse (MARMOS, 2024), ao desenvolver e projetar uma tecnologia, é

necessário avaliar como o sistema funcionará e a harmonia dele com o ambiente, de forma que ela não seja abandonada, por alta complexidade ou demanda exagerada de operação/manutenção, exigindo maior conhecimento técnico, uma barreira para a utilização do ESP32.

### **2.3 Sensores Comerciais X Sensores de Baixo Custo**

Vem acontecendo nos últimos anos, avanços na área de sensoriamento, aplicado nos mais variados setores, desde a presença na indústria até na agricultura de precisão. Porém, com as dificuldades enfrentadas pelos usuários destas tecnologias, urge uma necessidade de baratear os custos destes equipamentos as vezes de extrema necessidade para alguns indivíduos, e como uma opção surgem os sensores de baixo custo, que por mais que venham como uma solução, tem que ser estudados e validados para ter maior eficácia no propósito deles.

Exemplos disponíveis no mercado existem de todo preço e modelo, variando entre 1000R\$ até 45000R\$, dos mais procurados e adquiridos temos o modelo Ambient Weather Estação meteorológica inteligente WS-2902 WiFi vendido pela amazon pelo preço de 3499 R\$, modelo que conta com a presença de sensores que medem a velocidade/direção do vento, temperatura, umidade, chuva, intensidade UV e radiação solar.

Figura 7 – Estação meteorológica inteligente WS-2902.



Fonte: Amazon (2025)

Os sensores comerciais tem como diferencial a credibilidade dentro do mercado, já que normalmente estes são produzidos e desenvolvidos com base em rigorosos padrões de qualidade, onde passam por processos de calibração e validação que buscam trazer alta precisão e confiabilidade. Entretanto, com custos altos que muitas vezes fogem do orçamento do usuário, torna-se inviável a utilização dos mesmos em largas escalas, principalmente com projetos e pesquisas que possuem recursos financeiros limitados.

No outro lado da moeda temos os sensores de baixo custo, que vem se destacando por ser uma alternativa viável, sendo impulsionado pelo avanço da tecnologia em geral e da necessidade da produção humana em sempre estar baixando o custo de produção, tanto para gerar mais lucro quanto para viabilizar a operação pois em determinados momentos de sua vida, as empresas se vêem ameaçadas, devido a um declínio drástico de seus resultados. Estes sensores constituem alternativas de fácil construção, que permitem realizar a estimativa de variáveis com boa qualidade, conseguindo ser empregados em projetos de pesquisa e atividades acadêmicas (BENÍTEZ, 2021).

Existe um pensamento proposto que diz que além do custo mais alto o sistema

comercial precisa ser programado e configurado de acordo com os sensores e módulos de comunicação adotados, através de uma interface de programação de aplicações fornecida pelo fabricante, aumentando o tempo e o custo de desenvolvimento (SILVA, 2013).

Trabalhos e pesquisas buscam sanar essas duas problemáticas com sensores de baixo custo, onde por exemplo na figura 8 retirada do trabalho de (SILVA, 2013) que tem como objetivo desenvolver uma rede de sensores sem fio de baixo custo para o monitoramento ambiental, podemos visualizar que o custo do sistema proposto é de aproximadamente 20% da solução comercial avaliada.

Figura 8 – Valores de um sistema de baixo custo e um sistema convencional.

Sistema	Custo de 4 nós sensores (US\$)	Custo do Coordenador (US\$)	Custo Total
Proposto	388,92	100,38	<b>489,30</b>
<i>Libelium</i>	1784	900	2684

Fonte: Silva (2013)

Portanto, nessa discussão entre os sensores, podemos destacar pontos positivos em ambos os lados, porém com as novas tecnologias mais acessíveis tanto financeiramente quanto no manuseio, podemos compreender que esse gargalo do convencional deixa crescer uma vertente nova dentro do âmbito dos sensores, facilitando a vida do usuário.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Localização e Descrição do Experimento**

O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici – DENA/CCA/UFC. Este está situado a 3° 44' 47.16"latitude Sul e 38° 34' 52.20"longitude Oeste, na cidade de Fortaleza, Ceará. Os dados foram coletados no dia 05/02/2025, onde foram utilizados dois circuitos em 2 estações com 6 sensores cada, uma montado sobre um trator que foi avaliado em movimento, e outra móvel afixada em um trator parado. Os sensores utilizados para a realização das leituras foram os sensores de temperatura e umidade DHT11, DHT22, AHT10, AHT25, BME 280 e o HTUD21, devidamente conectados em um sistema de arduino, que estava conectados a um notebook com o Arduino IDE instalado e executando. Com estes aparatos buscou-se observar a resposta que os sensores teriam primeiramente ao fato do trator estar se deslocando e também em diferentes velocidades. Após efetuadas as leituras, foram gravados vídeos com os logs em tempo real da interface do IDE, os mesmos foram enviados a nuvem. Para extrair as informações contidas nesses vídeos, foi utilizado um programa chamado FFmpeg que transformava cada frame em uma imagem distinta, essas imagens foram lidas utilizando um OCR (Optical Character Recognition, que significa Reconhecimento Ótico de Caracteres. É uma tecnologia que permite converter imagens de texto em arquivos de texto legível por máquina) chamado Tesseract. Com os txts adquiridos, bastou colocá-los em uma planilha do excel e começar a trabalhar os dados obtidos.

#### **3.2 Sensores Utilizados**

Os Sensores de Umidade e Temperatura DHT11 e DHT22 operam com base em um sensor capacitivo para medir a umidade relativa do ar e um termistor para medir a temperatura ambiente. Eles possuem uma membrana porosa que permite que a umidade do ar entre em contato com o sensor capacitivo, alterando sua capacitância de acordo com a umidade. O termistor registra a variação de temperatura e ambos os valores são convertidos em sinais digitais pelo sensor. A grande diferença dos dois se dá na precisão da leitura e da amplitude da mesma, onde para umidade o DHT11 apenas captura a umidade em números inteiros, o DHT22 consegue

identificar os décimos de diferença, a amplitude de leituras também difere, onde para temperatura o DHT11 mede de 0 a 50°C, o DHT22 possui a capacidade de ler de -40 a 80°C.

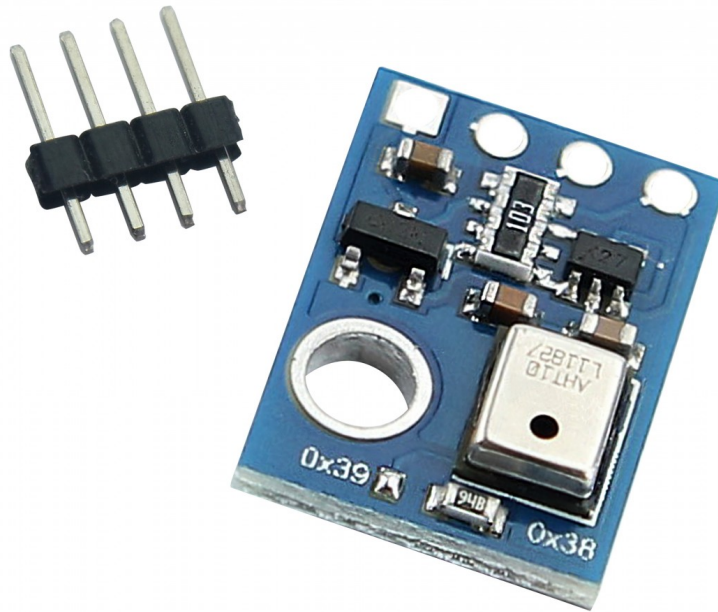
Figura 9 – Sensor de Temperatura e Umidade DHT22



Fonte: MakerHero (2025)

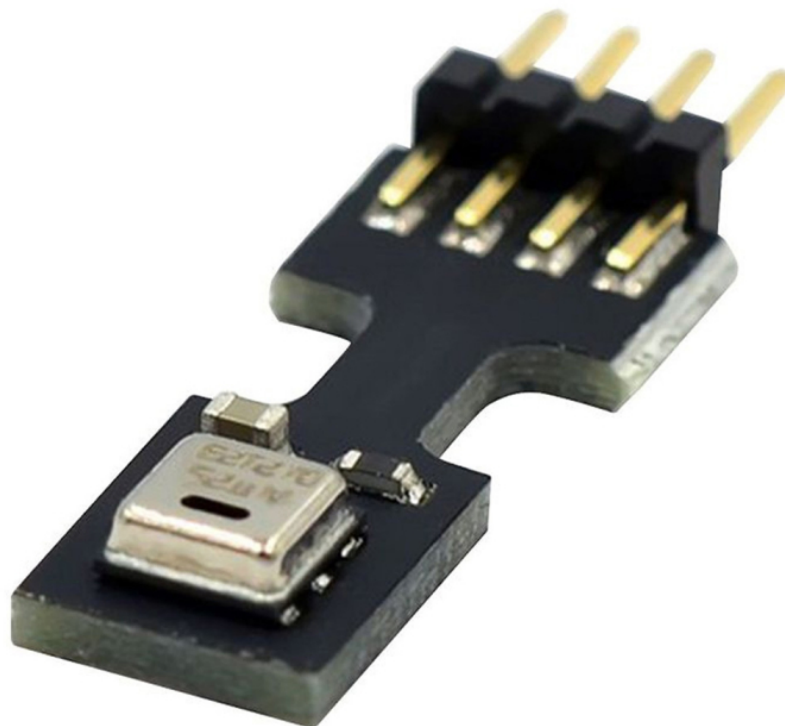
Os sensores AHT10 e AHT25 operam de forma similar aos modelos DHT, diferindo no alcance de leitura onde neste ao ler a umidade temos uma leitura coesa no alcance de 20% a 80% de umidade, já nos modelos AHT diz que a leitura pode chegar no intervalo de 0% a 100%

Figura 10 – Sensor de Temperatura e Umidade AHT10



Fonte: MakerHero (2025)

Figura 11 – Sensor de Temperatura e Umidade AHT25

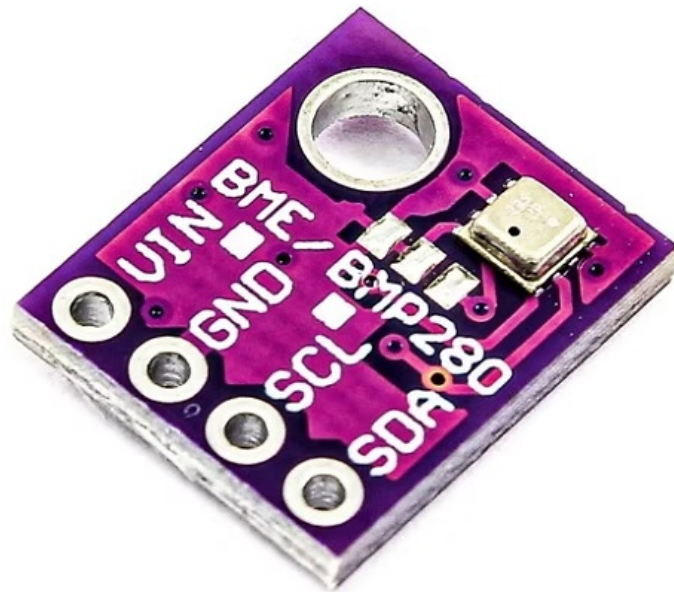


Fonte: MakerHero (2025)

O sensor BME280 também possui um termistor interno para medir a temperatura e

um capacitômetro para medir a umidade relativa, mas este também possui um sensor piezorresistivo integrado, Esse tipo de sensor utiliza um elemento mecânico que se deforma ligeiramente e consegue realizar leituras de pressão.

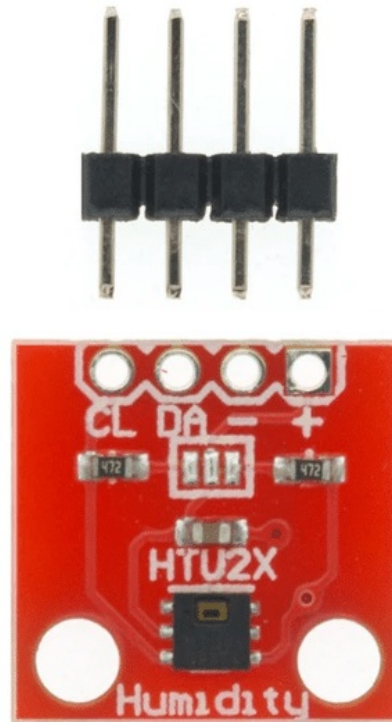
Figura 12 – Sensor de Temperatura e Umidade BME280



Fonte: MakerHero (2025)

O HTU21D utiliza sensores internos baseados em tecnologia capacitiva para medir a umidade relativa e termistores para medir a temperatura. O processo de medição é digitalizado internamente e o sensor transmite os valores para o microcontrolador via a interface, suas especificações são em relação a temperatura medir de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$  com precisão de  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  e para umidade medir de 0% a 100% de umidade relativa com precisão de  $\pm 2\%$  RH (em uma faixa de 20% a 80% de umidade).

Figura 13 – Sensor de Temperatura e Umidade HTU21D



Fonte: MakerHero (2025)

O código de programação utilizado para realizar as leituras dos sensores no arduino IDE encontra-se no Apêndice A.

Na figura 14 podemos demonstrar um datasheet criado com as especificações dos sensores utilizados.

Figura 14 – Datasheet com as especificações dos sensores de temperatura e umidade utilizados no trabalho

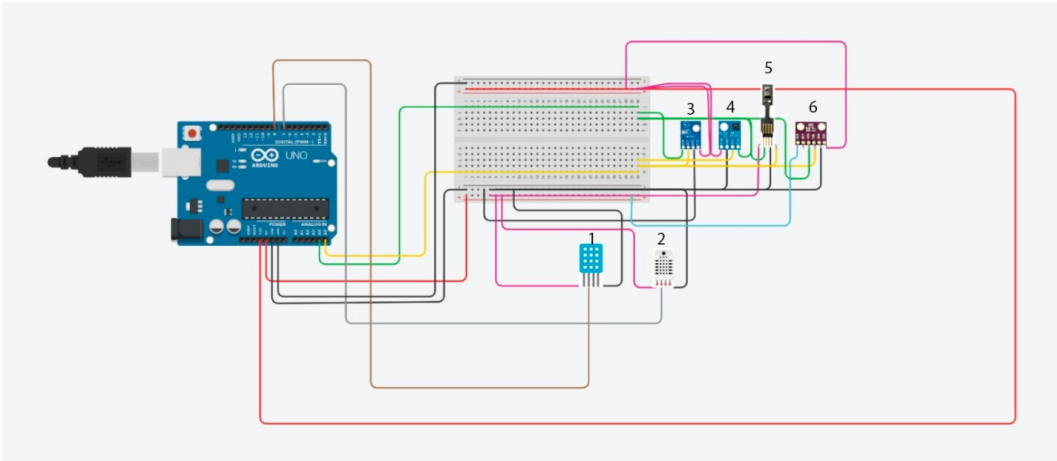
Sensor	Tensão de Operação	Faixa de Medição de Umidade	Faixa de Medição de Temperatura	Corrente Máxima	Precisão de Medição de Umidade	Precisão de Medição de Temperatura
DHT11	3V a 5V	20% a 80%	0°C a 50°C	2,5 mA	±5% RH	±2°C
DHT22	3V a 5V	0% a 100%	-40°C a 80°C	2,5 mA	±2% a ±5% RH	±0,5°C
BME280	1,8V a 3,6V	0% a 100%	-40°C a 85°C	-	±3% RH	±1°C
AHT10	1,8V a 6V	0% a 100%	-40°C a 85°C	-	±2% RH	±0,3°C
AHT25	2,2V a 5,5V	0% a 100%	-40°C a 80°C	-	±2% RH	±0,3°C
HTU21D	1,5V a 3,6V	0% a 100%	-40°C a 105°C	-	±2% RH	±0,3°C

Fonte: Acervo Pessoal (2025)

### 3.3 Montagem do Circuito

Os sensores foram montados em um microprocessador arduino da seguinte forma:

Figura 15 – Estrutura de Arduino Utilizada



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Os sensores enumerados de 1 a 6, devidamente da esquerda pra direita são: DHT11, DHT22, HTU21D, AHT10, AHT25 e BME280.

### 3.4 Condução do experimento

Na condução do experimento foi utilizado um trator VALTRA (Figura 8), modelo BM 120, 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar) de 88,3 kW (120 cv), equipado com pneus diagonais 14.9-24 R-1 no eixo dianteiro e pneus diagonais 18.4-34 R-1 10 no eixo traseiro, em rotação fixa do motor de 1860 rpm. O experimento foi feito em dois horários distintos para maior aquisição de informações, os horários escolhidos foram de 15 horas e 17 horas. Dentro destes horários foram definidos 4 tratamentos diferentes, cada um nas marchas L1, L2, L3 e L4 respectivamente, todas em redução tartaruga.

Abaixo na tabela 1 temos a tabela de tratamentos e marchas utilizadas, onde é mostrado o que cada tratamento denominados pela letra T representam.

Sendo: H1 = Leitura as 15 horas / H2 = Leitura as 17 horas / L1 = Marcha L1 / L4 = Marcha L4 / L3 = Marcha L3 / L2 = Marcha L2

Tabela 1 – Tabela de tratamentos e marchas utilizadas

Tratamento	Horário	Marcha
T1	H1	L1
T2	H1	L4
T3	H1	L3
T4	H1	L2
T5	H2	L1
T6	H2	L4
T7	H2	L3
T8	H2	L2

Fonte: O Autor.

Figura 16 – Painel de marchas do trator BME120.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

A velocidade de trabalho a ser operada foi determinada com base na recomendação de pulverização que é de 3 a 12km/h (SENAR, 2017). Para determinar as velocidades de deslocamento do trator, inicialmente foram escolhidas velocidades teóricas que abrangem a maioria das atividades relacionadas ao preparo de solo, baseada na combinação de marchas disponíveis no manual do trator. Posteriormente, as velocidades reais de deslocamento do trator, foram verificadas em campo. Com uso de trena, foi determinado um espaço de 50 metros a ser percorrido pelo trator. Foi utilizada rotação fixa de 1860 rpm correspondente a 540 rpm na tomada de potência (TDP) e utilizadas as marchas de trabalho L1, L2, L3 e L4, com o

botão de multitorque na tartaruga, que proporcionariam as velocidades teóricas previamente escolhidas. O movimento do trator foi iniciado e o tempo de deslocamento para percorrer os 50 m, contabilizado com cronômetro. As velocidades médias foram calculadas, com base na equação:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (3.1)$$

$v_m$  = Velocidade Média

$\Delta s$  = Intervalo do deslocamento [posição final – posição inicial ( $S_{final} - S_{inicial}$ )]

$\Delta t$  = Intervalo de tempo [tempo final – tempo inicial ( $T_{final} - T_{inicial}$ )]

Na figura 17 podemos ver como foi realizado o teste de velocidade real.

Figura 17 – Teste de velocidade real.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

As velocidades reais de trabalho utilizadas nas marchas L1, L4, L3 e L2 estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela do teste de velocidade real

Marcha	Redução	Velocidade real (Km/H)
L1	Tartaruga	3,31Km/H
L2	Tartaruga	3,96Km/H
L3	Tartaruga	5,68Km/H
L4	Tartaruga	8,24Km/H

Fonte: O Autor.

### 3.5 Aquisição de dados meteorológicos

As leituras com os dois conjuntos de equipamentos foram realizadas exatamente na mesma hora para todos os tratamentos, onde o sistema estava programado para realizar leituras a cada 2 segundos. Cada leitura dentro do período de leituras teve 2 minutos de duração, totalizando aproximadamente 60 valores de leituras dentro desse intervalo.

Na tabelas 3 e 4 está descrito a marcha utilizada em cada horário determinado.

Tabela 3 – Horário das primeiras leituras

Marcha	Horário de Início	Horário de Término
L1	14:47	14:49
L4	14:54	16:56
L3	15:00	15:02
L2	15:03	15:05

Fonte: O Autor.

Tabela 4 – Horário das segundas leituras

Marcha	Horário de Início	Horário de Término
L1	16:47	16:49
L4	16:52	16:54
L3	17:01	17:03
L2	17:07	17:09

Fonte: O Autor.

### **3.6 Análise estatística**

Os valores obtidos dos sensores foram submetidos a testes de normalidade em cada conjunto de leituras realizadas dentro dos períodos de leitura utilizando Shapiro-Wilk, constatando que nenhuma das leituras é normalizada. Portanto, com um conjunto de dados não paramétricos dependentes, já que os mesmos foram coletados exatamente no mesmo momento utilizaremos o Teste de Wilcoxon para Amostras Pareadas. Os testes realizados foram todos utilizados usando a plataforma R versão 4.4.2.

O teste de Wilcoxon para amostras pareadas é um método não paramétrico utilizado para comparar duas medições dependentes, sendo apropriado quando os dados não seguem uma distribuição normal. O teste avalia a diferença entre as medianas das amostras, classificando e somando os postos das diferenças observadas (WILCOXON, 1945).

### **3.7 Análise de amplitude**

Neste trabalho também realizamos uma avaliação de amplitude de diferença entre as medições dos leitores que estavam no trator parado e no trator em movimento, retirando de literatura conhecida qual o comportamento que cada sensor tem utilizando-se uma estação meteorológica comercial e validada, ou parâmetros como termômetros comerciais válidos. Com base nos valores de amplitude e desvio padrão dos trabalhos externos consultados, podemos ter uma avaliação do impacto das trepidações e movimentos do trator nos sensores utilizados.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Demonstração de Resultados**

Os resultados obtidos foram separados por variáveis: Temperatura e Umidade, por cada sensor utilizado e por cada horário realizado. Os tratamentos utilizados serão T1 (L1 no horário de 14:47), T2 (L4 no horário de 14:54), T3 (L3 no horário de 15:00), T4 (L2 no horário de 15:03) T5 (L1 no horário de 16:47), T6 (L4 no horário de 16:52), T7 (L3 no horário de 17:01), T8 (L2 no horário de 17:07). Cada tratamento passou por um teste estatístico entre a estação fixa e a estação móvel de coleta dos dados, assim para podermos comparar as leituras obtidas entre as duas. Foi obtido o valor de p para todos os tratamentos, onde nossa análise se  $p > 0.05$  rejeitamos a hipótese nula de que as duas leituras das estações são iguais.

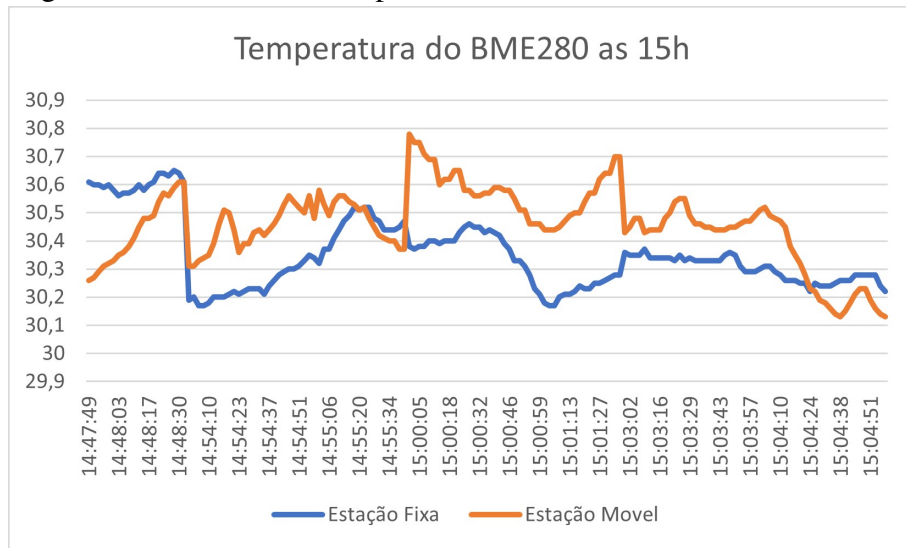
### **4.2 Resultados estatístico das leituras dos sensores em temperatura**

Para maior compreensão dos resultados foram adicionados os gráficos referentes as leitura e os valores de p para todos os tratamentos realizados.

#### **4.2.1 BME280**

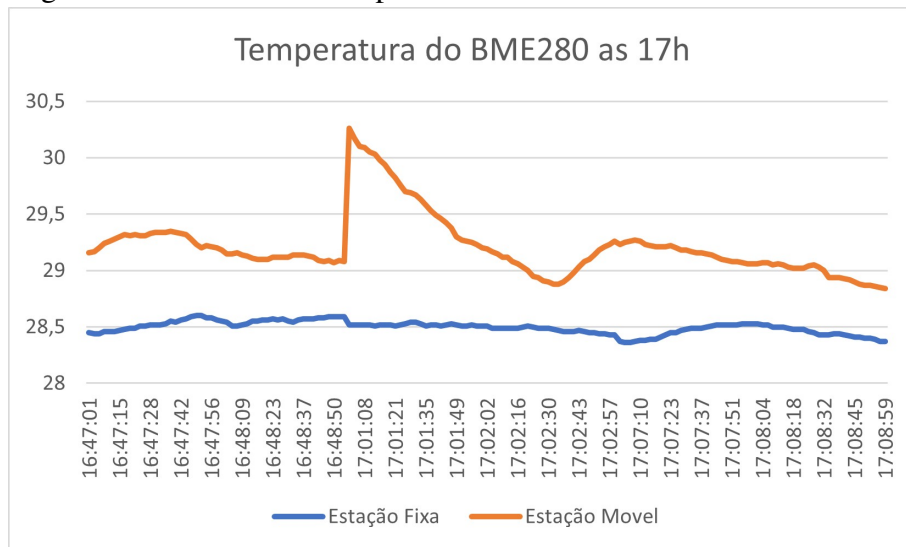
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de temperatura do sensor as 15 e as 17 horas. Para o T6 do BME280 tivemos um problema com a leitura destes dados e os mesmos foram descartados.

Figura 18 – Gráfico de Temperatura do BME280 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 19 – Gráfico de Temperatura do BME280 as 17h



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 0.0001424

Valor de p para T2: 4.364e-07

Valor de p para T3: 1.154e-08

Valor de p para T4: 0.001563849

Valor de p para T5: 2.1577e-18

Valor de p para T6: Descarte

Valor de p para T7: 6.190135e-19

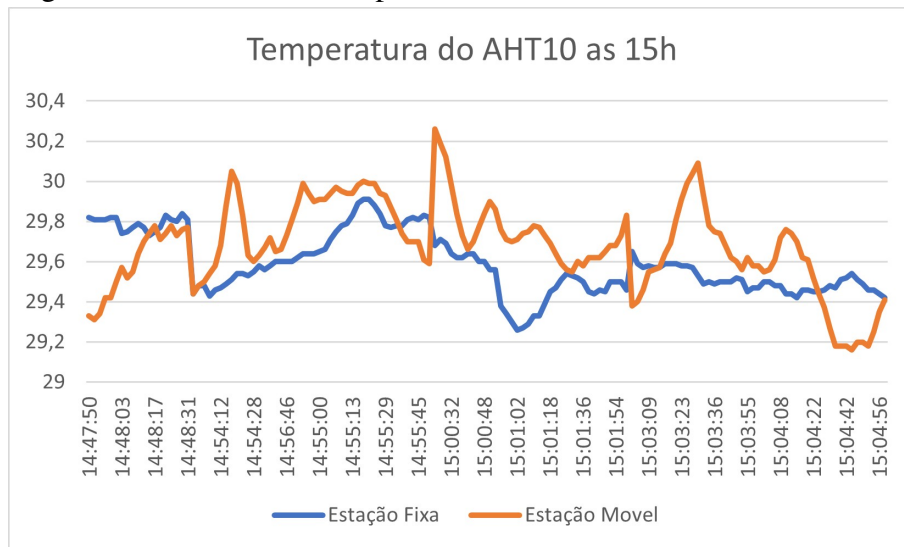
Valor de p para T8: 4.784013e-19

Como podemos observar, os gráficos de leitura de temperatura do sensor meteorológico BME280 apresentaram vários picos, além de valores de p insatisfatórios para determinar igualdade.

#### 4.2.2 AHT10

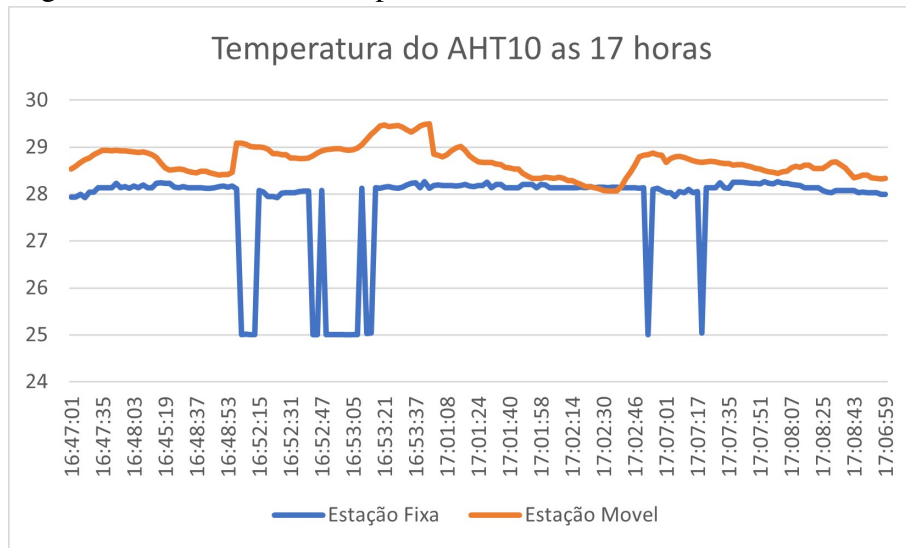
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de temperatura do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 20 – Gráfico de Temperatura do AHT10 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 21 – Gráfico de Temperatura do AHT10 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 7.566529e-06

Valor de p para T2: 0.0002412722

Valor de p para T3: 4.274119e-10

Valor de p para T4: 0.04827732

Valor de p para T5: 1.197203e-13

Valor de p para T6: 4.429662e-16

Valor de p para T7: 4.361971e-12

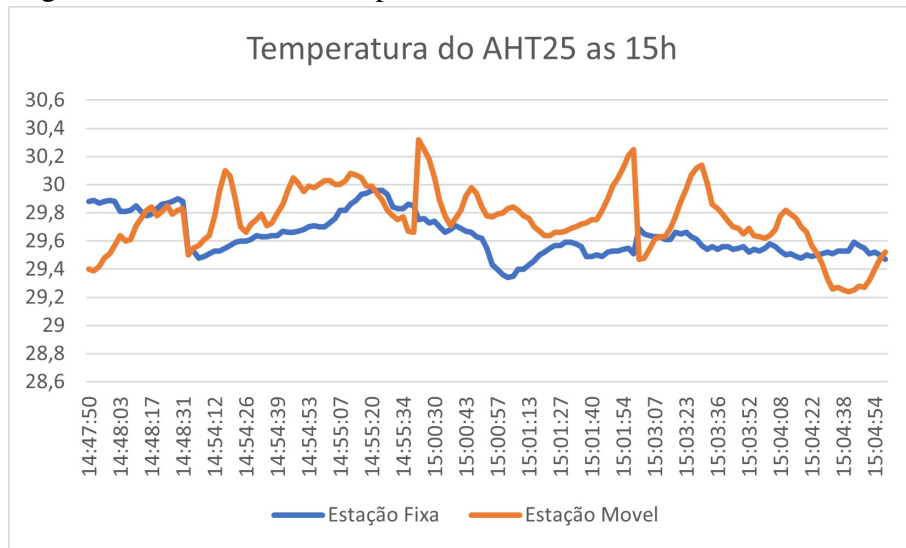
Valor de p para T8: 4.562986e-18

O sensor meteorológico AHT10 apresentou problemas na leitura de temperatura das 17 horas, sempre indicando um valor de 25°C entendido como uma leitura padrão do mesmo. Também demonstrou muitos picos na leitura das 15 horas, tornando difícil credibilizar a sua leitura.

### 4.2.3 AHT25

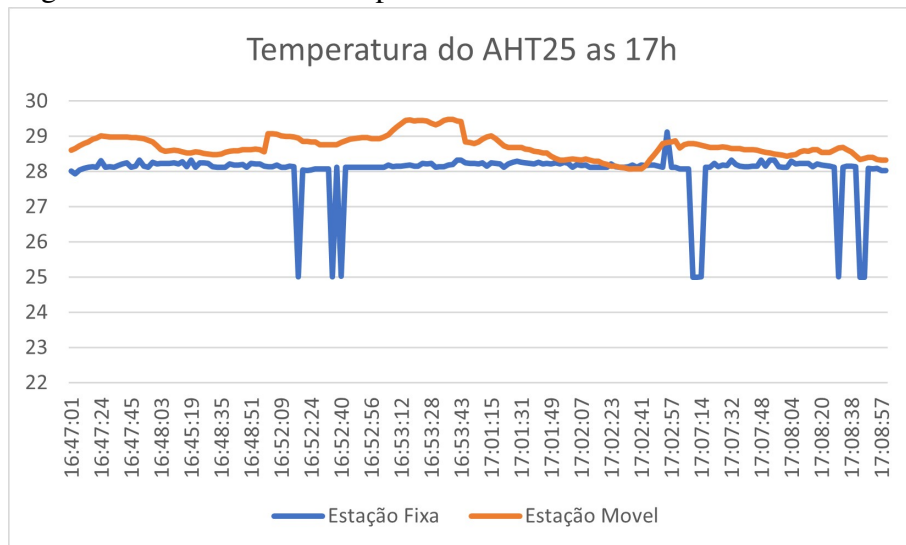
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de temperatura do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 22 – Gráfico de Temperatura do AHT25 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 23 – Gráfico de Temperatura do AHT25 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 3.054215e-05

Valor de p para T2: 4.741285e-05

Valor de p para T3: 1.658431e-12

Valor de p para T4: 0.02438585

Valor de p para T5: 1.417491e-16

Valor de p para T6: 6.246804e-17

Valor de p para T7: 1.061055e-07

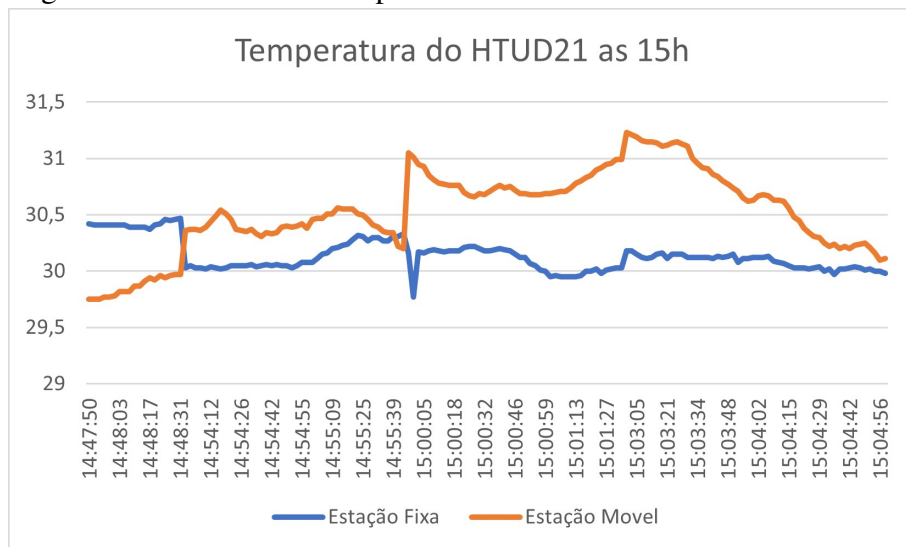
Valor de p para T8:  $8.315024e-18$

O AHT25 demonstrou leituras que até se assemelham estatisticamente entre estação parada e móvel, da mesma forma que o AHT10 demonstrou, mas o grande numero de picos na leitura das 15 horas e os erros detectados no grafico das 17 horas, fazem com que não possamos confiar completamente nas leituras

#### 4.2.4 HTUD21

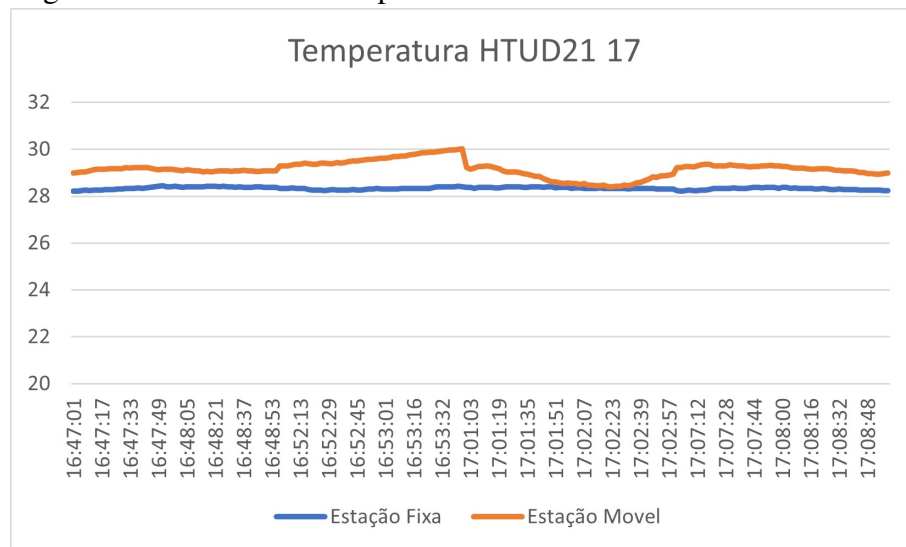
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de temperatura do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 24 – Gráfico de Temperatura do HTUD21 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 25 – Gráfico de Temperatura do HTUD21 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 1.24559e-07

Valor de p para T2: 5.415698e-15

Valor de p para T3: 1.381058e-15

Valor de p para T4: 3.436656e-17

Valor de p para T5: 5.219e-10

Valor de p para T6: 3.633e-09

Valor de p para T7: 3.633e-09

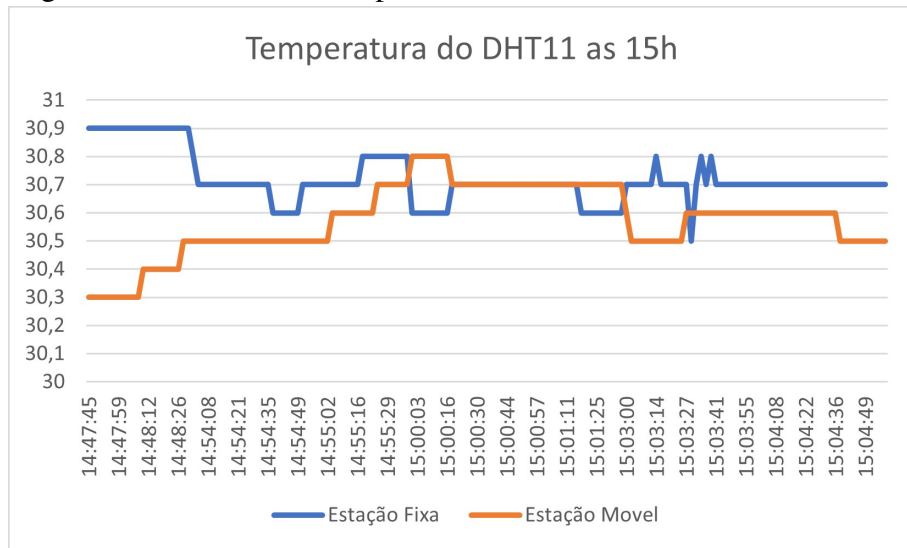
Valor de p para T8: 2.445e-10

Presença de picos no começo das marchas faz entender que o sensor requeira um pouco de preparação para poder fazer leituras mais precisas, porém dos utilizados é um dos mais caros e mesmo assim apresenta problemas.

#### 4.2.5 DHT11

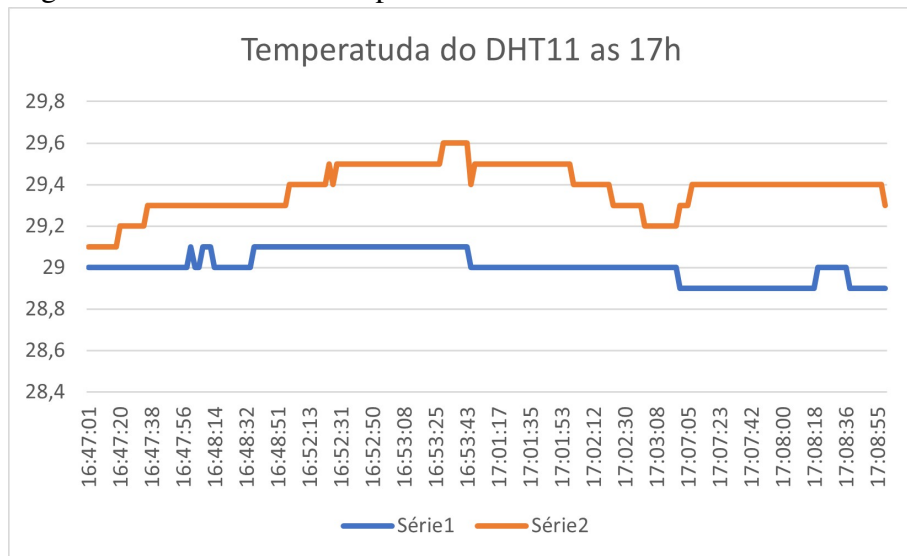
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de temperatura do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 26 – Gráfico de Temperatura do DHT11 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 27 – Gráfico de Temperatura do DHT11 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 1.843568e-09

Valor de p para T2: 2.459567e-13

Valor de p para T3: 1.991092e-07

Valor de p para T4: 8.445248e-20

Valor de p para T5: 7.457099e-21

Valor de p para T6: 5.42417e-18

Valor de p para T7: 2.026715e-20

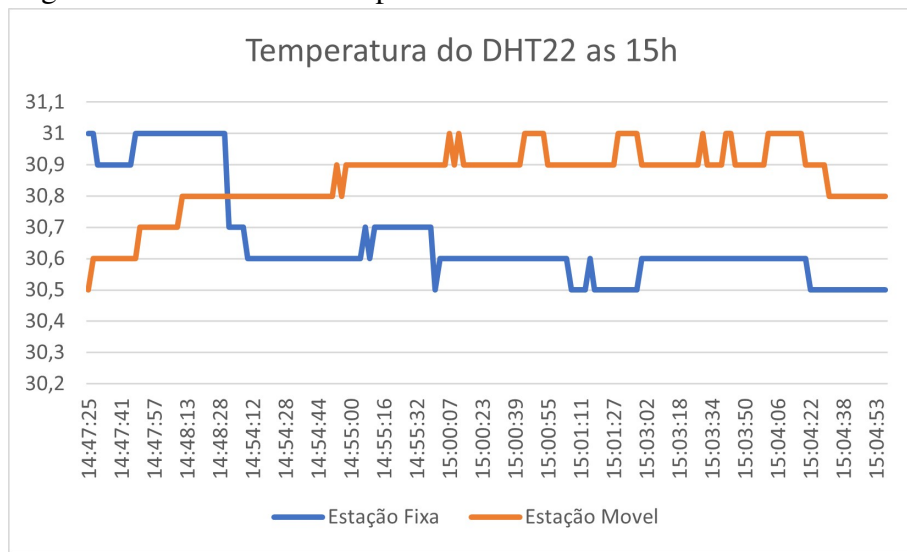
Valor de p para T8: 3.118416e-21

Leituras que só demonstram 1 casa decimal, e muitas vezes bem diferentes, o DHT11 se demonstra não promissor na leitura de temperatura.

#### 4.2.6 DHT22

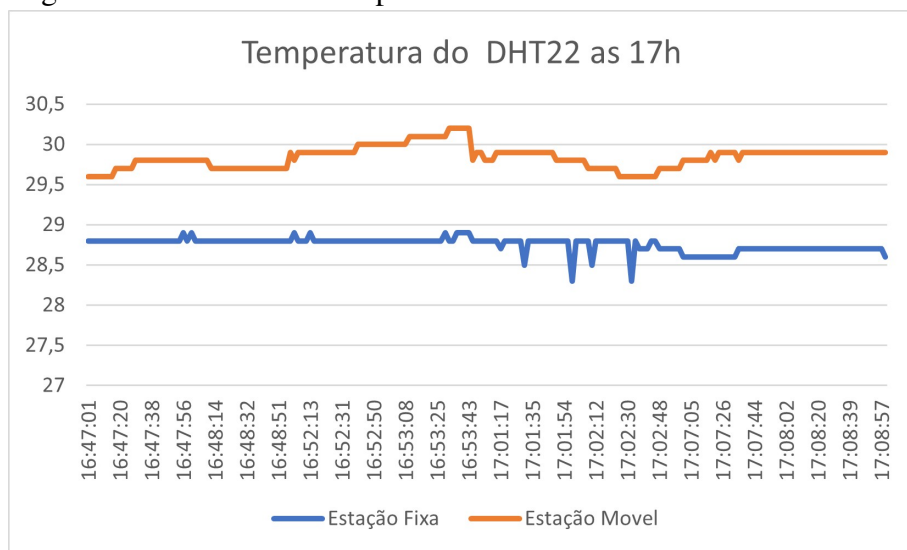
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de temperatura do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 28 – Gráfico de Temperatura do DHT22 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 29 – Gráfico de Temperatura do DHT22 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 7.887321e-13

Valor de p para T2: 1.356726e-17

Valor de p para T3: 1.588101e-17

Valor de p para T4: 7.102696e-20

Valor de p para T5: 7.305863e-20

Valor de p para T6: 3.958788e-19

Valor de p para T7: 1.174935e-18

Valor de p para T8: 2.090961e-21

Presença de alguns picos no gráfico de temperatura de 17 horas, leituras muito diferentes, com valores de p pequeníssimos.

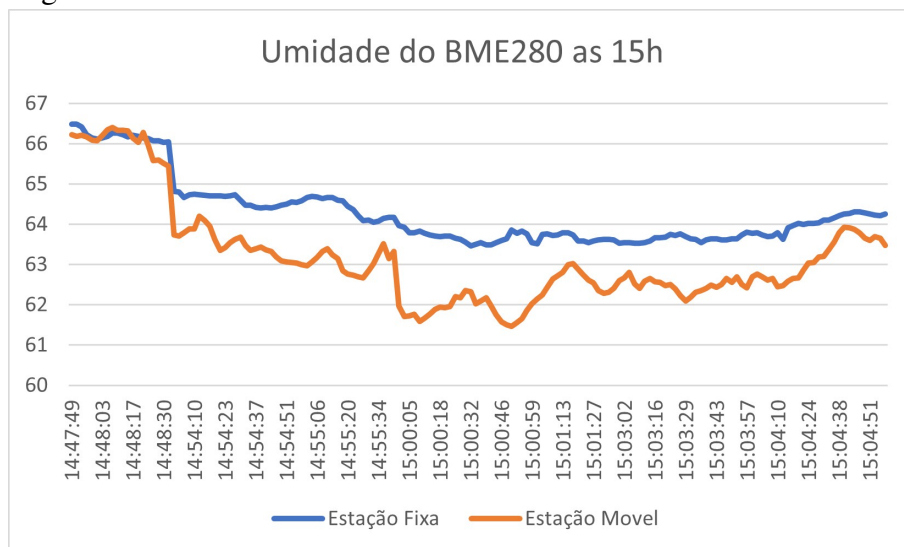
### 4.3 Resultados das leituras dos sensores em umidade

Para maior compreensão dos resultados foi adicionado os gráficos referentes a leitura de umidade e o valor de p para todos os tratamentos realizados.

#### 4.3.1 BME280

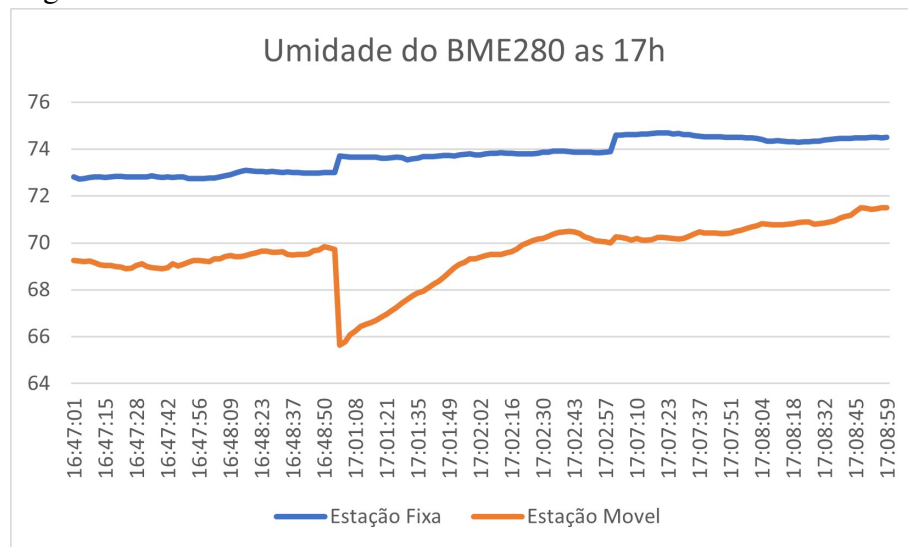
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de umidade do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 30 – Gráfico de umidade do BME280 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 31 – Gráfico de umidade do BME280 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 0.5515139

Valor de p para T2: 1.287706e-15

Valor de p para T3: 1.44055e-15

Valor de p para T4: 1.528248e-13

Valor de p para T5: 3.189575e-18

Valor de p para T6: NAN

Valor de p para T7: 7.159676e-19

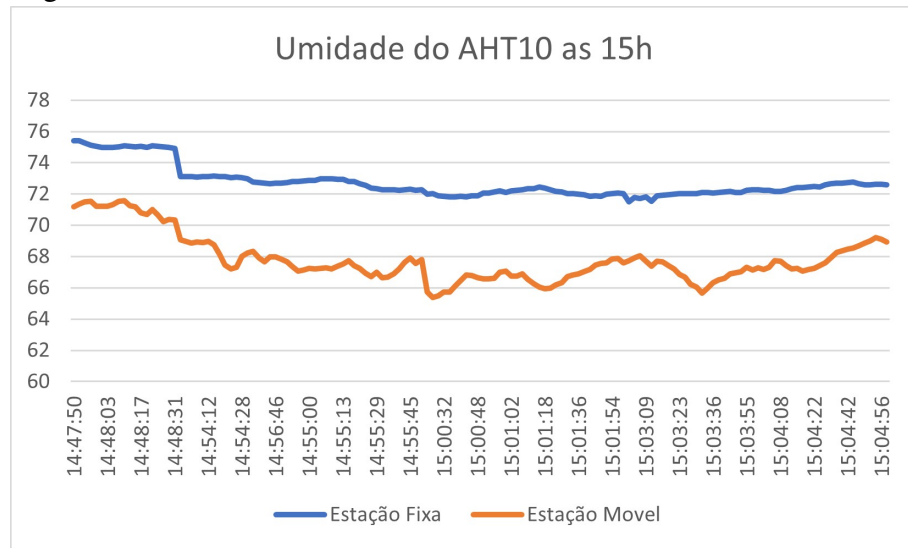
Valor de p para T8: 7.138141e-19

Apresentou um tratamento que tem resultado satisfatório, onde é o com a menor velocidade, indicando que o mesmo pode sofrer com o movimento do trator, buscando o usuário adaptar a utilização do mesmo.

#### 4.3.2 AHT10

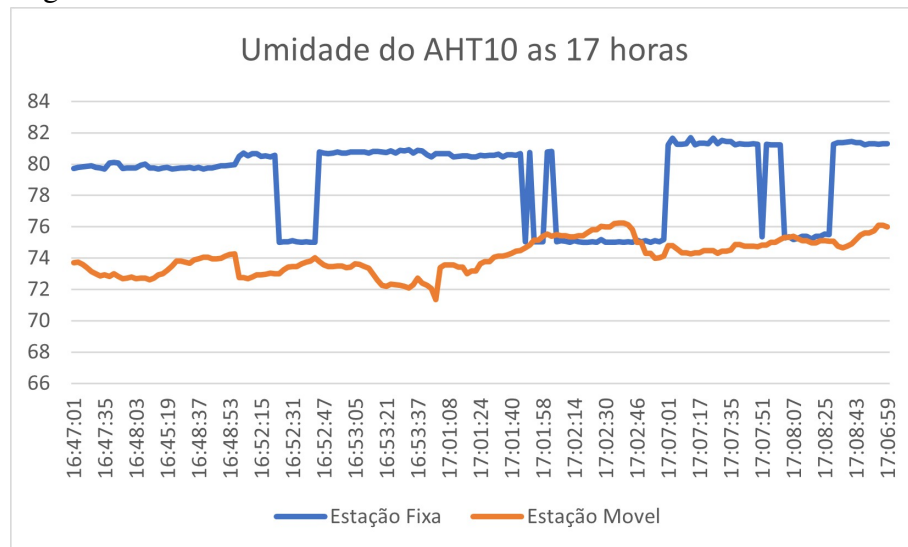
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de umidade do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 32 – Gráfico de umidade do AHT10 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 33 – Gráfico de umidade do AHT10 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Muitos problemas com leituras com erro e ao avaliarmos, podemos detectar leituras defeituosas na estação fixa que se assemelham mais que as leituras corretas em relação a estação movel, problemas na estação movel significam um problema com o próprio sensor. Valor de p para T1: 1.440954e-07

Valor de p para T2: 6.728853e-16

Valor de p para T3: 3.021244e-13

Valor de p para T4: 6.878959e-17

Valor de p para T5: 1.369526e-13

Valor de p para T6: 6.730815e-16

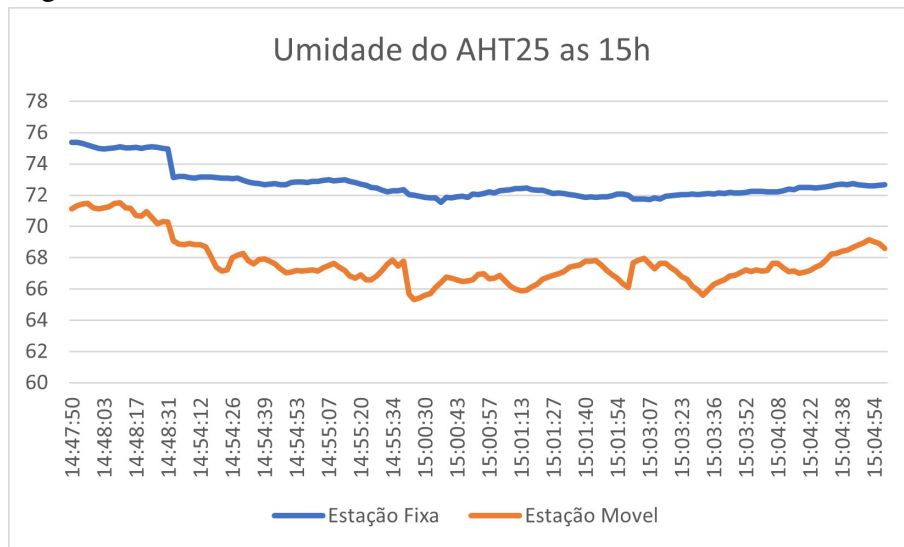
Valor de p para T7: 1.33515e-05

Valor de p para T8: 2.562365e-15

### 4.3.3 AHT25

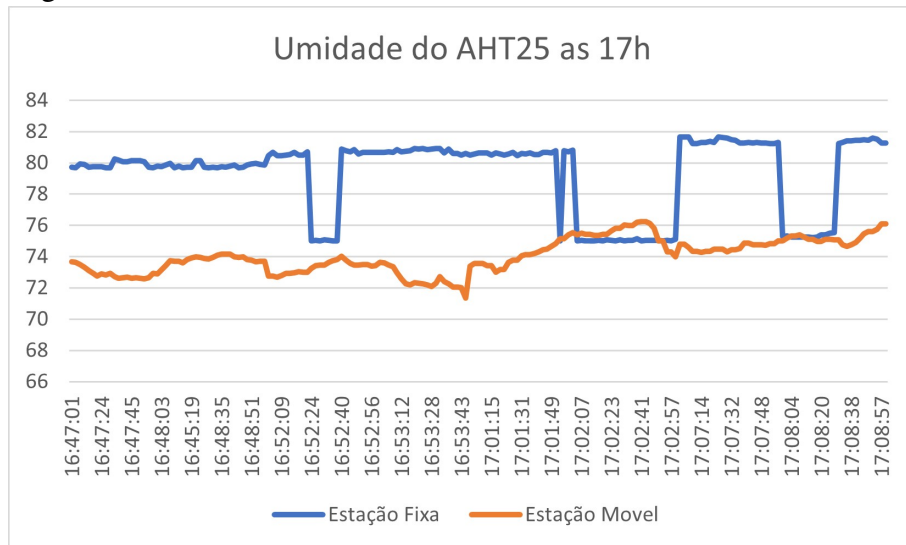
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de umidade do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 34 – Gráfico de umidade do AHT25 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 35 – Gráfico de umidade do AHT25 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 1.477496e-07

Valor de p para T2: 6.77016e-16

Valor de p para T3: 3.10154e-15

Valor de p para T4: 3.213305e-17

Valor de p para T5: 1.446938e-16

Valor de p para T6: 1.462852e-16

Valor de p para T7: 6.362543e-06

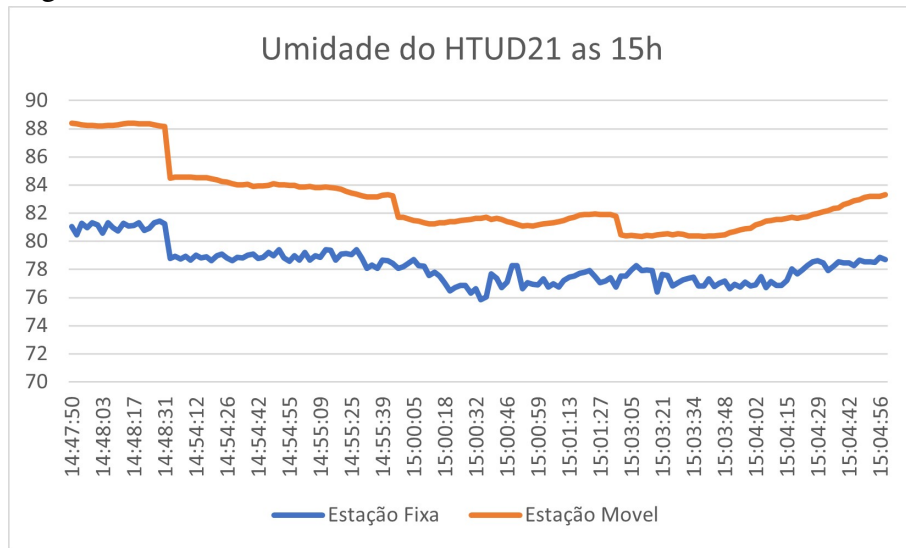
Valor de p para T8: 9.934545e-15

Outro problema as 17 horas, leituras nada coesas, com picos de queda que mesmo sendo defeituosos se assemelham mais a linha do gráfico da estação móvel do que a leitura correta da estação fixa, demonstrando que esse sensor meteorológico não tem uma acurácia 100% correta.

#### 4.3.4 HTUD21

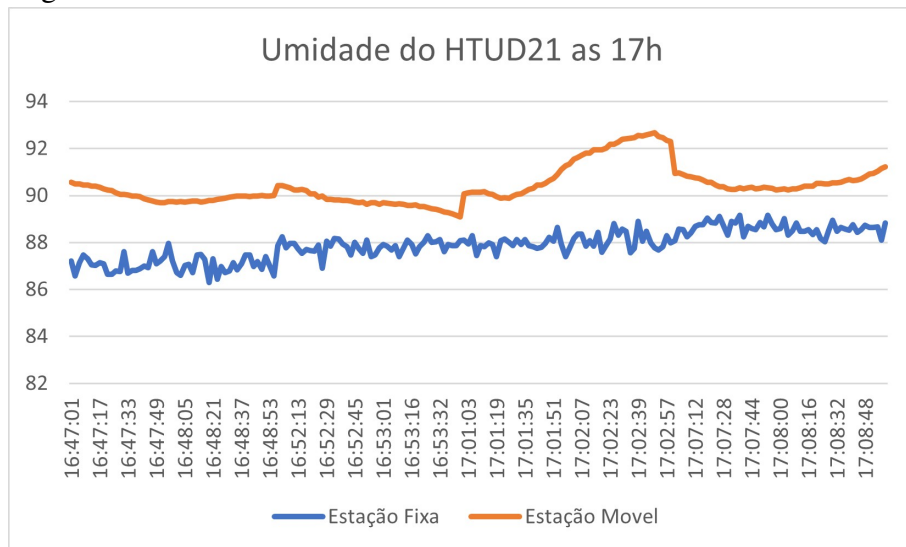
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de umidade do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 36 – Gráfico de umidade do HTDU21 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 37 – Gráfico de umidade do HTDU21 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 1.454565e-07

Valor de p para T2: 6.756364e-16

Valor de p para T3: 1.451139e-15

Valor de p para T4: 3.606e-10

Valor de p para T5: 5.296498e-10

Valor de p para T6: 3.636737e-09

Valor de p para T7: 3.606375e-10

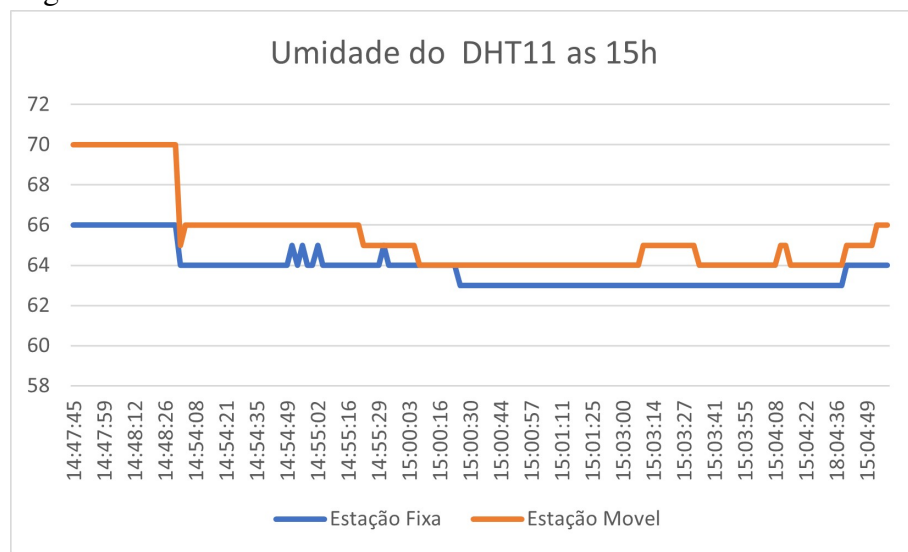
Valor de p para T8: 2.450535e-10

Gráficos que em momentos são muito distantes, na análise gráfica podemos implicar problemas ao mesmo.

#### 4.3.5 DHT11

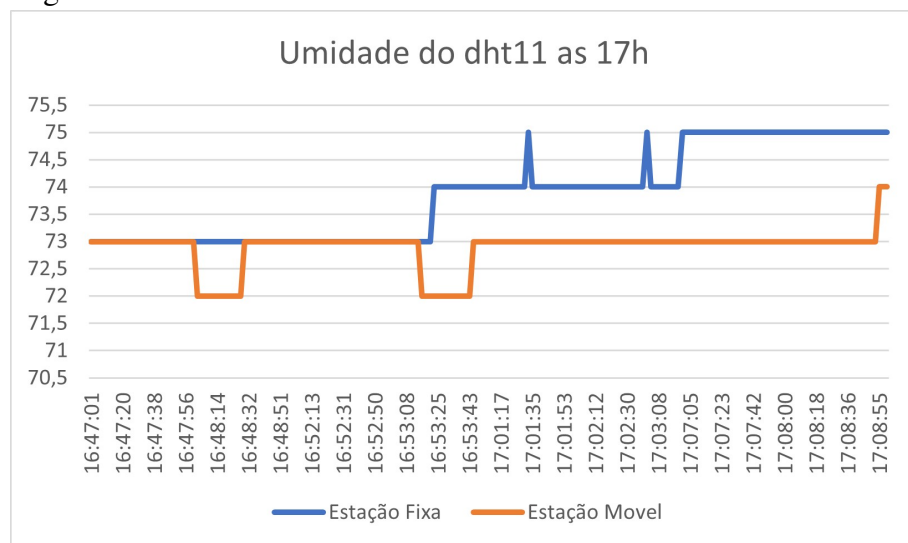
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de umidade do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 38 – Gráfico de umidade do DHT11 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 39 – Gráfico de umidade do DHT11 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: Não foi possível realizar o teste.

Valor de p para T2: 1.68494e-09

Valor de p para T3: 2.085662e-09

Valor de p para T4: 2.085662e-09

Valor de p para T5: Não foi possível realizar o teste.

Valor de p para T6: Não foi possível realizar o teste.

Valor de p para T7: Não foi possível realizar o teste.

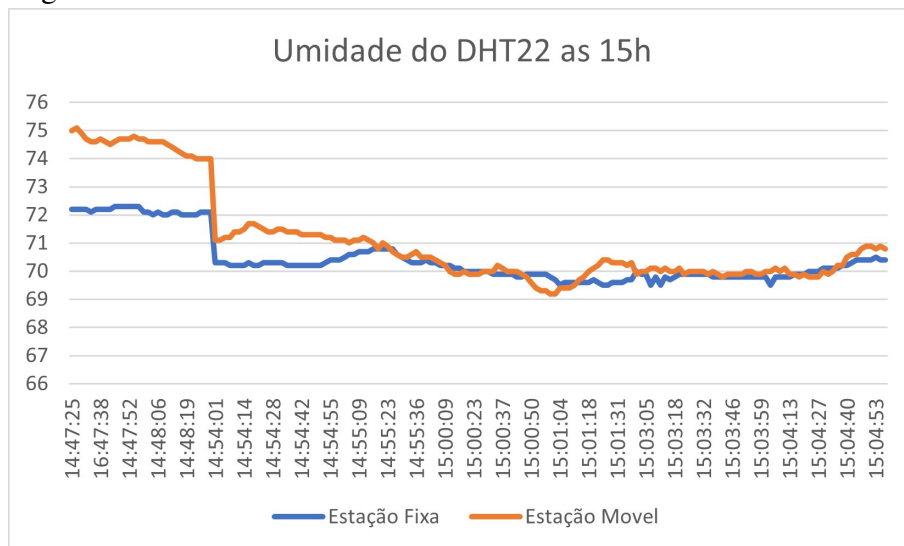
Valor de p para T8: Não foi possível realizar o teste.

Demonstrou momentos de igualdade extremamente satisfatórios, pelo fato dos números em momentos serem iguais o R não conseguiu realizar a análise estatística, mas devemos usar esse sensor com cautela, já que o mesmo não lê casas decimais nas leituras de umidade, apenas calculando as porcentagens com números inteiros.

#### 4.3.6 DHT22

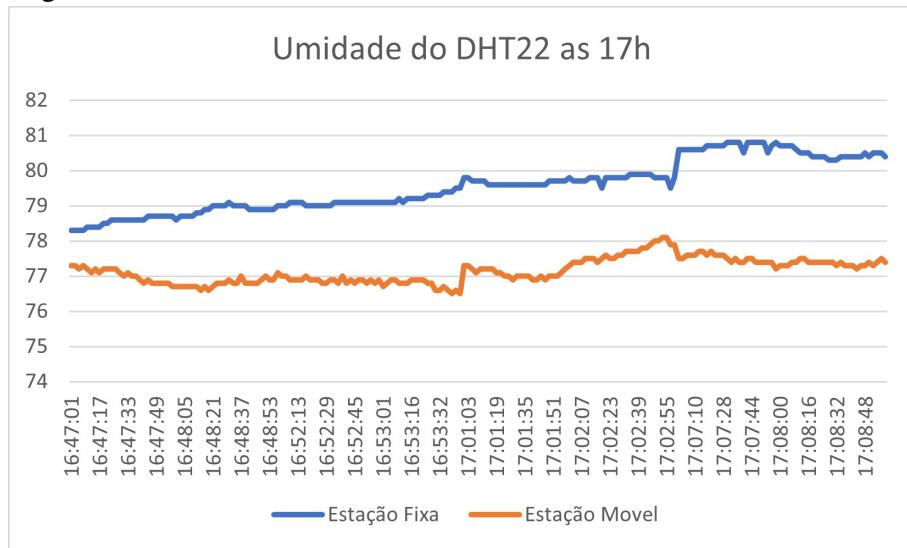
O gráfico abaixo representa as leituras coletadas de umidade do sensor as 15 e as 17 horas.

Figura 40 – Gráfico de umidade do DHT22 as 15h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Figura 41 – Gráfico de umidade do DHT22 as 17h.



Fonte: Acervo Pessoal (2025)

Valor de p para T1: 2.266004e-11

Valor de p para T2: 1.512979e-14

Valor de p para T3: 0.7091612

Valor de p para T4: 0.7891846

Valor de p para T5: 2.526489e-18

Valor de p para T6: 8.028275e-24

Valor de p para T7: 9.234433e-22

Valor de p para T8: 6.158008e-19

No quesito umidade visualizou-se o mais promissor, o gráfico de leitura das 15 horas foi bem próximo e com poucos picos, mostrando que na análise gráfica podemos dizer que obtivemos resultados satisfatórios.

#### 4.4 Resultados de amplitude dos dados de temperatura e umidade para os sensores meteorológicos

Para uma visão de funcionamento dos sensores, foi procurado em literatura existente dados de leituras dos sensores meteorológicos utilizados com leitores de temperatura e umidade válidos, precisos e digitais, para entender qual a amplitude de diferença das leituras entre os sensores utilizados e a fonte válida de dados. Nesta parte do trabalho iremos buscar entender se os sensores demonstraram leituras satisfatórias comparando a amplitude de leitura das mesmas

em relação a estação móvel e estação estacionária, onde podemos relacionar com as leituras obtidas na literatura.

#### 4.4.1 BME280

Figura 42 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor BME280

Variável	Hora	Menor Diferença	Maior Diferença
Temperatura	15:00	0°C	0,42°C
Temperatura	17:00	0,4°C	1,74°C
Umidade	15:00	0,04%	2,39%
Umidade	17:00	2,97%	8,08%

Fonte: Acervo Pessoal

No trabalho de (MAZUREK *et al.*, 2024), foi identificado que a menor diferença entre temperaturas foi de 0,61°C e a maior 1,35°C e de umidade de 4,58% para a menor e 10,45% para a maior, para o sensor BME280. Nas leituras realizadas em campo obtivemos uma diferença máxima de 1,74°C de temperatura e 8,08% de umidade para o sensor BME280, que enquadra em uma amplitude maior que a da literatura para temperatura porém menor em umidade.

#### 4.4.2 AHT10

Figura 43 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor AHT10

Variável	Hora	Menor Diferença	Maior Diferença
Temperatura	15:00	0°C	0,58°C
Temperatura	17:00	0°C	4,23°C
Umidade	15:00	3,42%	6,64%
Umidade	17:00	0,01%	9,34%

Fonte: Acervo Pessoal

No trabalho de (AASHIQ *et al.*, 2023), foi identificado que a menor diferença entre temperaturas foi de 0,1°C e a maior 4,79°C e de umidade de 0,32% para a menor e 5,92% para a maior, para o sensor AHT10.

Nas leituras realizadas em campo obtivemos uma amplitude de máxima de 4,23°C para temperatura e 9,34% para umidade, onde a temperatura lida pelo sensor em campo teve uma amplitude menor que a do trabalho citado, porém os dados de umidade tem a amplitude maior que a citada.

#### 4.4.3 AHT25

Figura 44 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor AHT25

Variável	Hora	Menor Diferença	Maior Diferença
Temperatura	15:00	0,00 °C	0,74 °C
Temperatura	17:00	0,00 °C	3,95 °C
Umidade	15:00	3,46 %	6,66 %
Umidade	17:00	0,10 %	9,25 %

Fonte: Acervo Pessoal

Especificações do AHT25  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 2\%$  Nas leituras realizadas em campo obtivemos uma diferença máxima de  $3,95^{\circ}\text{C}$  de temperatura e  $9,25\%$  de umidade, porém não foi possível encontrar em literatura amplitude dos dados para este sensor, sendo assim necessário trabalhos futuros que demonstrem estes dados validados, iremos usar as especificações do AHT25 e os dados obtidos em campo passam muito da amplitude que ele diz ter de diferença em leituras, nos dois casos sendo bem mais que o dobro.

#### 4.4.4 HTU21D

Figura 45 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor HTU21D

Variável	Hora	Menor Diferença	Maior Diferença
Temperatura	15h	0,03 °C	1,24 °C
Temperatura	17h	0,07 °C	1,60 °C
Umidade	15h	2,10%	9,49%
Umidade	17h	0,99%	4,89%

Fonte: Acervo Pessoal

No trabalho de (LIU *et al.*, 2019), foi identificado um desvio padrão para temperatura de  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  e de umidade de  $\pm 3,2\%$ , para o sensor HTU21D. Nas leituras realizadas em campo obtivemos  $1,6^{\circ}\text{C}$  graus de amplitude máxima para temperatura e  $9,49\%$  de umidade, maior que a literatura utilizada, demonstrando que os sensores HTU21D utilizados devem sofrer com as trepidações e movimentações do trator.

#### 4.4.5 DHT11

Figura 46 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor DHT11

Variável	Hora	Menor Diferença	Maior Diferença
Temperatura	15h	0 °C	0,60 °C
Temperatura	17h	0,10 °C	0,50 °C
Umidade	15h	0%	4%
Umidade	17h	0%	2%

Fonte: Acervo Pessoal

No trabalho de (MARIANO, 2022), foi identificado um desvio padrão para temperatura de  $\pm 3,99^{\circ}\text{C}$  e de umidade de  $\pm 10,67\%$ , para o sensor DHT11. Nas leituras realizadas em campo obtivemos a maior amplitude em temperatura de  $0,6^{\circ}\text{C}$  e  $4\%$  para umidade, nos dois parametros obtivemos resultados menores do que o trabalho utilizado para embasamento, demonstrando que por mais que a leitura gráfica desses sensores não transparecesse muita confiança, ao avaliarmos esses parametros podemos observar que os dados de amplitude não são tão altos principalmente ao utilizarmos um sensor de preço tão barato.

#### 4.4.6 DHT22

Figura 47 – Amplitude dos dados de leitura individuais de temperatura e umidade do sensor DHT22

Variável	Hora	Menor Diferença	Maior Diferença
Temperatura	15h	0,10 °C	0,50 °C
Temperatura	17h	0,80 °C	1,50 °C
Umidade	15h	0%	2,90%
Umidade	17h	1%	3,60%

Fonte: Acervo Pessoal

No trabalho de (AL., 2023) foi identificado um desvio padrão para temperatura de  $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$  e de umidade de  $\pm 3,8\%$ , para o sensor DHT22.

Nas leituras realizadas em campo obtivemos a maior amplitude em temperatura de  $1,50^{\circ}\text{C}$  e  $3,60\%$  em umidade, mostrando que nas leituras de umidade os sensores utilizados estiveram dentro da amplitude do trabalho citado, mas mais do que o dobro na leitura de temperatura, demonstrando que o sensor pode sofrer bastante com as trepidações e movimentações do trator.

## 5 CONCLUSÕES

Ao realizar a análise gráfica, estatística e de amplitude dos sensores, podemos concluir que todos eles sofrem influencia de alguma forma que seja do uso em cima de um trator, ou em campo.

Existiram tratamentos que demonstraram igualdades estatísticas como o Tratamento 1 da leitura de umidade do BME280, Tratamento 3 e Tratamento 4 da leitura de umidade do DHT22. Também podemos considerar os Tratamentos 4 da leitura de temperatura dos sensores AHT10 e AHT25, que chegaram a ter um  $p > 0.01$ .

Da parte gráfica, podemos observar muitos problemas com os sensores AHT10 e AHT25, além de picos em diversos outros sensores, análises em trabalhos futuros poderão determinar o motivo desses picos, se realmente é o movimento do trator ou outros fatores.

Da análise de amplitude podemos destacar que o sensor meteorológico BME280 teve uma resposta satisfatória no quesito leitura de umidade, o sensor AHT10 teve melhor resultado em temperatura, o sensor AHT25 não conseguiu ser analisado com literatura conhecida, o sensor HTU21D não obteve resultados satisfatórios, o sensor DHT11 obteve resultados satisfatórios para os dois parâmetros e o sensor DHT22 teve resultados satisfatórios para leituras de umidade.

Trabalhos futuros indicarão quais fatores impactam diretamente a essas diferenças obtidas entre a estação meteorológica que estava no trator e a que estava parada.

## REFERÊNCIAS

- AASHIQ, M. N. M.; KURERA, W. T. C. C.; THILEKARATNE, M. G. S. P.; SAJA, A. M. A.; ROUZIN, M. R. M.; NERANJAN, N.; YASSIN, H. An iot-based handheld environmental and air quality monitoring station. **ACTA IMEKO**, v. 12, n. 3, p. 1–8, 2023. Acesso em: 11 mar. 2025. Disponível em: <file:///C:/Users/lucas/Downloads/1487-Article%20Text-11293-1-10-20230726.pdf>.
- ABREU, L. Com agricultura de precisão, produtores rurais alcançam até 29% de aumento na produtividade. **CNA Brasil**, maio 2021. Acesso em: 16 fev. 2025. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/com-agricultura-de-precisao-produtores-rurais-alcancam-ate-29-de-aumento-na-productividade>>.
- AL., A. et. Design of monitoring system temperature and humidity using dht22 sensor and nrf24l01 based on arduino. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2421, p. 012018, 2023. Acesso em: 11 mar. 2025. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2421/1/012018>>.
- AZEVEDO, F. R. d.; FREIRE, F. d. C. O. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas**. [S.l.]: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. ISSN 1677-1915.
- BANZI, M. **Primeiros Passos com o Arduino**. Novatec Editora, 2012. Acesso em: 18 fev. 2025. Disponível em: <<https://s3.novatec.com.br/capitulos/capitulo-9788575222904.pdf>>.
- BENÍTEZ, J. S. **Sensores de baixo custo para monitoramento contínuo da umidade do solo e radiação solar**. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)) — Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2021. Accessed on: 6 mar. 2025. Disponível em: <[https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/JULIANA\\_SANCHEZ\\_BENITEZ.pdf](https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/JULIANA_SANCHEZ_BENITEZ.pdf)>.
- CONTIERO, R.; BIFFE, D.; CATAPAN, V. Tecnologia de aplicação. In: FILHO, J. B.; FREITAS, P.; BERIAN, L.; GOTO, R. (Ed.). **Hortaliças-fruto**. EDUEM, 2018. p. 401–449. ISBN 978-65-86383-01-0. Disponível em: <<https://doi.org/10.7476/9786586383010.0015>>.
- CUNHA, J. P. A. R. da; TEIXEIRA, M. M.; VIEIRA, R. F.; FERNANDES, H. C.; COURY, J. R. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. **Maquinaria Agrícola**, Maquinaria Agrícola, Anápolis, Brasil, v. 39, n. 10, p. 978–985, 2025.
- IDBELLA, M.; IADARESTA, M.; GAGLIARDE, G.; MENNELLA, A.; MAZZOLENI, S.; BONANOMI, G. Agrilogger: A new wireless sensor for monitoring agrometeorological data in areas lacking communication networks. **MDPI Sensors**, v. 20, n. 6, p. 1589, 2020. Acesso em: 18 fev. 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/20/6/1589>>.
- JAVAID, M.; HALEEM, A.; RAB, S.; SINGH, R. P.; SUMAN, R. Sensors for daily life: A review. **Sensors International**, v. 2, 2021. ISSN 2666-3511. Acesso em: 18 fev. 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100121>>.
- LI, S.; SIMONIAN, A.; CHIN, B. A. Sensors for agriculture and the food industry. **Interface**, v. 5, n. 1, 2004. Acesso em: 19 fev. 2025. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.F05104if/pdf>>.
- LIU, Z.; LI, J.; LIU, M.; CASCIOLI, V.; MCCARTHY, P. W. In-depth investigation into the transient humidity response at the body-seat interface on initial contact using a dual temperature

and humidity sensor. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2421, p. 69, 2019. Acesso em: 11 mar. 2025. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30917555/>>.

MARIANO, E. d. F. Comparação de dados coletados com termo-higrômetro comercial e com sensor dht-11 associado a uma placa arduino e seu potencial de uso em pesquisa e ensino de ciências. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e30611427329, 2022. Acesso em: 11 mar. 2025. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/27329/23936/319855>>.

MARMOS, C. R. Conheça tecnologias agrícolas mais acessíveis ao pequeno e médio produtor. **Futurecom**, 2024. Acesso em: 17 fev. 2025. Disponível em: <<https://digital.futurecom.com.br/artigos/conheca-tecnologias-agricolas-mais-acessiveis-ao-pequeno-e-medio-produtor/>>.

MARTINAZZO, C. A.; TRENTIN, D. S.; FERRARI, D.; PIAIA, M. M. **Arduino: uma tecnologia no ensino de Física**. 2014. Acesso em: 18 fev. 2025. Disponível em: <[https://eadcampus.spo.ifsp.edu.br/pluginfile.php/938271/mod\\_resource/content/1/143\\_430.pdf](https://eadcampus.spo.ifsp.edu.br/pluginfile.php/938271/mod_resource/content/1/143_430.pdf)>.

MAZUREK, L. A.; DALLACORT, R.; DIAS, V. R. d. M.; CARVALHO, M. A. C. d. Desenvolvimento e validação de estação meteorológica alternativa integrada a aplicações web e android. **Nativa**, Sinop, v. 12, n. 4, p. 775–784, 2024. ISSN 2318-7670.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. Novatec Editora, 2011. Acesso em: 18 fev. 2025. ISBN 978-85-7522-274-4. Disponível em: <<https://s3.novatec.com.br/capitulos/capitulo-9788575222744.pdf>>.

OLIVEIRA, R. P. d. **Técnicas de agricultura de precisão para criação de zonas de manejo usando sensores proximais e software R na Fazenda Pamplona, Cristalina, GO**. 2022. Acesso em: 17 fev. 2025. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1151214>>.

PASIC, R.; KUZMANOV, I.; ATANASOVSKI, K. Esp-now communication protocol with esp32. **Journal of Universal Excellence**, v. 6, n. 1, p. 53–60, feb 2021. Accessed on: 6 mar. 2025. Disponível em: <<https://eprints.uklo.edu.mk/id/eprint/6312/1/Paper%20Slovenia%20-%202021%20Challenges%20of%20the%20future%20-%20Roberto%20Ivo%20Kokan.pdf>>.

RESEARCH, D. **Global Precision Agriculture Market Size, Share, and Trends Analysis Report – Industry Overview and Forecast to 2031**. [S.l.]: Data Bridge Market Research, 2024. <<https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-precision-agriculture-market>>. Acesso em: 18 fev. 2025.

SANTOS, M. D. e. a. The use of arduino as a safe alternative in the handling of machines in the rural environment, especially the forage shredder. **International Journal of Geoscience, Engineering and Technology**, v. 5, n. 1, p. 40–44, 2022.

SILVA, M. S. d. **Rede de sensores sem fio de baixo custo para monitoramento ambiental**. Dissertação (Mestrado), Campinas, 2013. Accessed on: 19 fev. 2025. Disponível em: <[file:///C:/Users/sasuk/Downloads/silva\\_marcel salvionida\\_m.pdf](file:///C:/Users/sasuk/Downloads/silva_marcel salvionida_m.pdf)>.

SOUZA, M. P.; CAVALCANTI, M. Avanços e aplicações de drones na gestão de recursos naturais e monitoramento ambiental no semiárido brasileiro. **Revista de Gestão e Secretariado (GeSec)**, v. 15, n. 7, p. 01–18, 2024. Acesso em: 17 fev. 2025. Disponível em: <<https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4030/2551>>.

WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry—recent development and future perspective. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 50, n. 1, p. 1–14, 2006. Acesso em: 19 fev. 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169905001572>>.

WENDLING, M. **Sensores**. 2010. Acesso em: 18 fev. 2025. Disponível em: <<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55868161/4---sensores-v2.0-libre.pdf>>.

WOLF, R. E. **Strategies to reduce spray drift**. [S.l.]: Kansas State University, 2000. 4 p. (Application Technology Series).

## APÊNDICE A – CÓDIGOS-FONTES UTILIZADOS PARA CAPTAR OS DADOS METEOROLOGICOS DOS SENSORES NO PROGRAMA ARDUINO IDE

### Código-fonte 1 – Código do Arduino

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <Adafruit_BME280.h>
3 #include <Adafruit_AHTX0.h>
4 #include <SparkFunHTU21D.h>
5 #include <DHT.h>
6
7 // Instancia dos sensores
8 Adafruit_BME280 bme280;
9 Adafruit_AHTX0 aht10;
10 Adafruit_AHTX0 aht25;
11 HTU21D htu21d;
12
13 // Configura ao dos sensores DHT
14 #define DHT11_PIN 8
15 #define DHT22_PIN 7
16 #define DHT11_TYPE DHT11
17 #define DHT22_TYPE DHT22
18 DHT dht11(DHT11_PIN, DHT11_TYPE);
19 DHT dht22(DHT22_PIN, DHT22_TYPE);
20
21 void setup() {
22     Serial.begin(9600);
23     Wire.begin(); // Inicializa o barramento I2C (SDA - A4,
24                 SCL - A5)
25
26     // Inicializa os sensores
27     if (!bme280.begin(0x76)) {
28         Serial.println("Erro ao inicializar o BME280!");
29     }
30 }
```

```
28 } else {
29     Serial.println("BME280 inicializado.");
30 }
31
32 if (!aht10.begin()) {
33     Serial.println("Erro ao inicializar o AHT10!");
34 } else {
35     Serial.println("AHT10 inicializado.");
36 }
37
38 if (!aht25.begin()) {
39     Serial.println("Erro ao inicializar o AHT25!");
40 } else {
41     Serial.println("AHT25 inicializado.");
42 }
43
44 htu21d.begin(); // HTU21D n o retorna erro de
45     inicializa o
46 Serial.println("HTU21D inicializado.");
47
48 // Inicializa os sensores DHT
49 dht11.begin();
50 dht22.begin();
51 Serial.println("Sensores DHT11 e DHT22 inicializados.");
52 }
53
54 void loop() {
55     //Leitura do BME280
56     float pressurePa = bme280.readPressure(); // Press o
57         em Pascals
58     float pressureAtm = pressurePa / 101325.0; // Convers o
59         para atm
```

```
57 Serial.print("BME280 - Temperatura: ");
58 Serial.print(bme280.readTemperature());
59 Serial.print(" C , Umidade: ");
60 Serial.print(bme280.readHumidity());
61 Serial.print(" %, Press o: ");
62 Serial.print(pressureAtm);
63 Serial.println(" atm");
64
65 // Leitura do AHT10
66 sensors_event_t humidity10, temp10;
67 aht10.getEvent(&humidity10, &temp10);
68 Serial.print("AHT10 - Temperatura: ");
69 Serial.print(temp10.temperature);
70 Serial.print(" C , Umidade: ");
71 Serial.print(humidity10.relative_humidity);
72 Serial.println(" %");
73
74 // Leitura do AHT25
75 sensors_event_t humidity25, temp25;
76 aht25.getEvent(&humidity25, &temp25);
77 Serial.print("AHT25 - Temperatura: ");
78 Serial.print(temp25.temperature);
79 Serial.print(" C , Umidade: ");
80 Serial.print(humidity25.relative_humidity);
81 Serial.println(" %");
82
83 // Leitura do HTU21D
84 Serial.print("HTU21D - Temperatura: ");
85 Serial.print(htu21d.readTemperature());
86 Serial.print(" C , Umidade: ");
87 Serial.print(htu21d.readHumidity());
88 Serial.println(" %");
```

```
89
90 // Leitura do DHT11t
91 Serial.print("DHT11 - Temperatura: ");
92 Serial.print(dht11.readTemperature());
93 Serial.print(" C , Umidade: ");
94 Serial.print(dht11.readHumidity());
95 Serial.println(" %");
96
97 // Leitura do DHT22
98 Serial.print("DHT22 - Temperatura: ");
99 Serial.print(dht22.readTemperature());
100 Serial.print(" C , Umidade: ");
101 Serial.print(dht22.readHumidity());
102 Serial.println(" %");
103
104 delay(2000); // Espera 2 segundos entre as leituras
105 };
106 }
107 }
```