



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL



JOÃO MARCELO DOS SANTOS SOARES

**UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE BAIXO CUSTO NO DESENVOLVIMENTO DE
FERRAMENTAS PARA AGRICULTURA DIGITAL**

RECIFE

2026

JOÃO MARCELO DOS SANTOS SOARES

**UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE BAIXO CUSTO NO DESENVOLVIMENTO DE
FERRAMENTAS PARA AGRICULTURA DIGITAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Di Tarso dos Santos Sousa.

RECIFE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

S676u Soares, João Marcelo dos Santos.
Utilização de dispositivos de baixo custo no desenvolvimento de ferramentas para agricultura digital / João Marcelo dos Santos Soares. – Recife, 2026.
45 f.; il.

Orientador(a): Emanuel Di Tarso dos Santos Sousa.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Arduino (Controlador programável). 2. Internet das coisas. 3. Eletrônica embarcada. 4. Inclusão digital 5. Armazenamento de dados. I. Sousa, Emanuel Di Tarso dos Santos, orient. II. Título

CDD 628

JOÃO MARCELO DOS SANTOS SOARES

**UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE BAIXO CUSTO NO DESENVOLVIMENTO DE
FERRAMENTAS PARA AGRICULTURA DIGITAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental. Orientador: Prof. Dr. Emanuel Di Tarso dos Santos Sousa.

Aprovado em: 13/02/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Emanuel Di Tarso dos Santos Sousa
(Orientador) Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Amélia Laisy Do Nascimento
(Membro Interno) Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Marco Antônio Zanella
(Membro Interno) Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sei que ele esteve comigo desde o início dessa jornada. Sem sua presença, graça e proteção, esse momento como tantos outros não teria sido possível.

Agradecimento especial à minha mãe e à minha irmã que estiveram comigo sempre, me apoiando, ajudando e torcendo por mim do jeito delas, mesmo que a quilômetros de distância. Também agradeço a toda minha família, que, embora o contato tenha sido pouco, sei que todos estavam felizes com minhas pequenas conquistas em todos esses anos.

Um agradecimento especial a todos os meus amigos, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências, eles foram fundamentais em todos os momentos dessa jornada.

Em especial aos amigos e amigas Maria Vitória, Maria Eloyse, Ana Gabriela, Jacqueline, Jefferson, Patrícia e Joel, que estiveram ao meu lado nos momentos mais importantes e que guardo as melhores lembranças.

Não poderia deixar de fora minhas amigas externas da faculdade, Thayna e Madson e também o meu namorado Flavio Lucio, que me apoiou e incentivou em diversos momentos.

A todos os professores, pelas correções e ensinamentos que contribuíram para o profissional que eu estou me tornando, em especial as professoras e professores Amélia Nascimento, Mariane Lima, José Amilton e Emanuel di Tarso, que foi meu orientador em todos esses anos e que além de professor e orientador, se tornou um grande amigo e uma pessoa especial que sempre guardarei diversas lembranças.

À FACEPE e à UFRPE pelo auxílio no desenvolvimento e conclusão desse projeto.

Por fim, agradeço às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

A agricultura moderna possibilita a integração de diferentes ferramentas tecnológicas na execução de atividades. Nesse contexto, destacam-se, as tecnologias da informação e comunicação (TICs), a internet das coisas (IoT) e a agricultura de precisão, no qual, têm ganhado maior relevância, devido a sua versatilidade, maior alcance e sua capacidade de estimular a competitividade e a inclusão de pequenas e médias propriedades rurais. O estudo teve como objetivo coletar e analisar a viabilidade, eficiência e o desempenho de plataformas de baixo custo *open-source* e *open-hardware* como ferramentas para a agricultura digital e de precisão que se caracterizam pelo seu baixo custo e acessibilidade. Sua metodologia foi desenvolvida com a utilização de uma Plataforma Arduino Uno, sensores de temperatura e umidade relativa do ar e sensores indutivos, módulos de transmissão de dados (GNSS), de sistema de posicionamento global (GPS) e de armazenamento de dados. Além do desenvolvimento de estruturas de conexão dos componentes, acomodação e suporte dos equipamentos. O protótipo desenvolvido apresentou desempenho satisfatório, com alta precisão e estabilidade nos registros dos módulos GPS e GPRS. O Sensores de temperatura e umidade SHT30/SHT40, se destacaram mesmo com pequenas divergências em relação aos valores de referência. A implementação da Placa de Circuito Impresso (PCI), dos abrigos de baixo custo e dos demais equipamentos, aumentaram a confiabilidade estrutural e a autonomia operacional do sistema, reduzindo falhas e validando a eficácia da solução proposta para aplicação prática em campo.

PALAVRAS-CHAVE: Arduino, Internet das coisas, Eletrônica embarcada, Inclusão tecnológica, Transferência e armazenamento de dados.

ABSTRACT

Modern agriculture enables the integration of different technological tools in the execution of activities. In this context, information and communication technologies (ICTs), the Internet of Things (IoT), and precision agriculture stand out, having gained greater relevance due to their versatility, greater reach, and their ability to stimulate competitiveness and the inclusion of small and medium-sized rural properties. The study aimed to collect and analyze the feasibility, efficiency, and performance of low-cost open-source and open-hardware platforms as tools for digital and precision agriculture, which are characterized by their low cost and accessibility. Its methodology was developed using an Arduino Uno platform, temperature and relative humidity sensors, inductive sensors, data transmission modules (GNSS), global positioning system (GPS) modules, and data storage modules. In addition to the development of component connection structures, equipment accommodation, and support. The developed prototype performed satisfactorily, with high accuracy and stability in the GPS and GPRS module records. The SHT30/SHT40 temperature and humidity sensors stood out even with small discrepancies in relation to the reference values. The implementation of the Printed Circuit Board (PCI), low-cost shelters, and other equipment increased the structural reliability and operational autonomy of the system, reducing failures and validating the effectiveness of the proposed solution for practical application in the field.

KEYWORDS: Arduino, Internet of Things, Embedded electronics, Technological Inclusion, data transfer and storage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arduino Uno R3	20
Figura 2: Área de trabalho do Software EasyEDA	21
Figura 3: Conexões e cabos para fixação na placa de circuito Impresso	21
Figura 4: Conectores tipo borne	22
Figura 5: Cabos jumper e cabos flat	22
Figura 6: Módulo GPS NEO-M	23
Figura 7: Receptor, base e rover GPS Topcom Hiper SR	23
Figura 8: Identificação de pontos coletados com o módulo GPS	24
Figura 9: Localização da área de experimento	24
Figura 10: Módulo GPRS SIM800L	25
Figura 11: Execução dos comandos AT	25
Figura 12: Dados coletados e armazenados em banco de dados	26
Figura 13: Módulo Micro SD	27
Figura 14: Módulo DHT22	27
Figura 15: Sensores de temperatura e umidade	28
Figura 16: Esquema de testes com sensores de temperatura e umidade	28
Figura 17: Teste dos sensores de temperatura e umidade em ambiente aberto junto a estação meteorológica	29
Figura 18: Equipamento para autonomia do projeto	30
Figura 19: Materiais usados para a construção do abrigo	30
Figura 20: Materiais usados para a construção da estrutura de suporte dos abrigos e da caixa de passagem	30
Figura 21: Sensor Indutivo modelo LJ12A3-4-Z/BX	31
Figura 22: Resistores utilizados no projeto	32
Figura 23: Sistema de alimentação e funcionamento do protótipo para testes com o sensor indutivo	32
Figura 24: Montagem do hardware do projeto.	33
Figura 25: Posicionamento do sistema no trator	33
Figura 26: Desenho esquemático do circuito elétrico da Placa de circuito Impresso	34
Figura 27: Placa de circuito Impresso	34
Figura 28: PCB com os componentes soldados	35
Figura 29: Leitura dos dados obtidos com o GPS e convertidos	35
Figura 30: Mapa de cálculo de área e perímetro produzido no QGIS	36
Figura 31: a) área do experimento; b) Pontos coletados com o módulo GPS c) Conversão dos pontos coletados em linha; d) sobreposição das linhas obtidas com a coleta de pontos na área de experimento.	36
Tabela 1: Comparação da área de trabalho e a área obtida pelos somatórios das linhas	37
Figura 32: Representação dos dados de velocidade para obtenção da patinagem	38
Tabela 2: Comparação na qualidade de envios de pacotes de dados pelas operadoras 1 e 2, destacando o número e porcentagem de dados perdidos durante o	

processo.	38
Figura 33: Abrigos para os sensores e estrutura de suporte e acomodação.	40
Figura 34: Comparativo dos dados de temperatura antes e depois do abrigo.	42
Figura 35: Comparativo dos dados de umidade antes e depois do abrigo.	43
Figura 36: Protótipo para realização dos testes de bancada com o sensor indutivo	44
Figura 37: Equipamento para acionamento do motor e alimentação do sistema	44
Figura 38: Esquema de funcionamento dos sensores indutivos em placa ilhada com a adição dos divisores de tensão.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação da área de trabalho e a área obtida pelos somatórios das linhas	37
Tabela 2: Comparação na qualidade de envios de pacotes de dados pelas operadoras 1 e 2, destacando o número e porcentagem de dados perdidos durante o processo.	38
Tabela 3: Comparação do tempo ideal para envio de dados pelas operadoras 1 e 2	39
Tabela 4: Comparação dos dados coletados às 08 horas da manhã entre a estação Campbell e os demais sensores, por meio da análise de médias em teste t	39
Tabela 5: Comparação dos dados coletados às 16 horas da manhã entre a estação Campbell e os demais sensores, por meio da análise de médias em teste t	39
Tabela 6: Diferenças entre os dados coletados às 08 horas pelos sensores e a estação Campbell.	40
Tabela 7: Diferenças entre os dados coletados às 16 horas pelos sensores e a estação Campbell.	40
Tabela 8: Custo com os equipamentos e materiais utilizados para desenvolvimento do projeto	41
Tabela 9 - Velocidades obtidas com o sensor indutivo durante os testes.	44

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AT	<i>Attention Command</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
CI	Circuito integrado
DC	Corrente contínua
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IP	Protocolo de Internet
GLONASS	Sistema de Navegação Global por Satélite
GND	Terra
GNSS	Sistema de Navegação Global por Satélites
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i>
NPN	Negativo, Positivo, Negativo
PCI	Placa de Circuito Impresso
PVC	Policloreto de vinila
PWM	Modulação por Largura de Pulso
QGIS	Quantum GIS
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RX	Recepção
SD	<i>Secure digital</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SQL	Linguagem de Consulta Estruturada
TCP	Protocolo de Controle de Transmissão
TX	Transmissão
UART	<i>Universal Asynchronoys Receiver Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VCC	Tensão de Corrente Contínua

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Hardware e Software: Arduino atuando como um sistema embarcado e conexões	15
3.2 Placa de Circuito Impresso	16
3.3 Módulo GPS	17
3.4 Módulo GPRS	17
3.5 Sensores de temperatura e umidade	18
3.5.1 Estações e abrigos meteorológicos de baixo custo	18
3.6 Sensores indutivos para estimativa de deslocamento	19
4 MATERIAS E MÉTODOS	19
4.1 Arduino	19
4.2 Placa de Circuito Impresso	20
4.3 Módulo GPS	22
4.4 Módulo GPRS	25
4.5 Módulo de armazenamento	26
4.6 Sensores de temperatura e umidade	27
4.6.1 Abrigo meteorológico	29
4.7 Sensores indutivos para estimativa de deslocamento	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 Integração do Arduino e os demais componentes no trator	33
5.2 Desenvolvimento e funcionamento da Placa de Circuito Impresso	34
5.3 Aquisição de dados e cálculo de área com o GPS	35
5.4 GPRS	38
5.5 Sensores de Temperatura e Umidade	39
5.6 Sensores Indutivos para estimativa de velocidade	43
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão apresenta-se como um conjunto de tecnologias que permite fazer uma análise completa das variáveis temporais e espaciais e as informações referentes às condições e cenário do campo. De acordo com a International Society of Precision Agriculture (2023), ela é definida como “uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais, combinando-os com outras informações para apoiar as decisões de gestão”. E ainda segundo (ISPA, 2000) a Agricultura de Precisão tem como objetivo a melhor utilização do uso de recursos e o aumento da produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agrícola.

Com a automação é possível tornar o sistema mais eficiente, além de garantir maior segurança e redução dos custos do processo, tendo em vista a otimização do tempo. À vista disso, o uso de microcontroladores em plantas automatizadas, permitindo uma amplitude de aplicações que vão desde monitoramento de variáveis, coleta de dados etc. (Spinelli; Gottesman; Deenik, 2019). No campo da pesquisa científica é cada vez mais comum a utilização desses dispositivos, graças à sua acessibilidade, portabilidade e precisão (D’ausilio, 2016).

A aquisição de dados em projetos científicos e industriais foi, por muito tempo, dependente de sistemas de hardware e software proprietários. Essa dependência gera altos custos relacionados à importação, ao pagamento de royalties e à necessidade de manutenção especializada, limitando a democratização do monitoramento ambiental (Schmidt, 2015).

Com o surgimento de plataformas de código aberto, como o Arduino, tornou-se possível desenvolver soluções acessíveis para prototipagem eletrônica, integrando sensores, atuadores e sistemas de coleta de dados de maneira simples e eficaz em sistemas agrícolas (Mohankumar e Gowtham, 2024; Ardiansah et al., 2020; Pane et al., 2025).

A implantação das tecnologias permite não apenas observar os dados sobre as variabilidades espaciais e temporais, o que permite uma maior precisão na tomada de decisões, mas vai além disso, pois otimiza o uso dos recursos utilizados, visando uma maior redução de custos, produtividade e diminuição de riscos de danos ao meio ambiente.

Por fim, diante das mudanças e evoluções que ocorrem na agricultura,

trazendo com elas a concepção do empresário rural que faz uso de novas formas de gerenciamento e, sobretudo, no uso de novas tecnologias. Com isso pode-se ver que o agricultor familiar, que produz com pouca tecnologia, ou mesmo, sem fazer uso dela, está diante de um grave problema que é a inserção nessa modernização (Moura et al., 2002).

Os abrigos meteorológicos de baixo custo vêm sendo utilizados por vários pesquisadores, principalmente por quem pesquisa o clima urbano. Com o intuito de contornar a falta de equipamentos e padronizar suas pesquisas, os pesquisadores baseiam-se na experiência e na criatividade para a construção desses equipamentos (Valin Jr et al., 2016).

Dessa forma, é fundamental pensar em uma forma de viabilizar o desenvolvimento da agricultura não só em relação ao viés econômico-produtivo, mas sim de forma global. Tudo isso visando que o conjunto das necessidades e o sistema de produção possam garantir uma qualidade de vida para os que mais a utilizam.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho e aplicabilidade de plataformas *open-source* e *open-hardware* no desenvolvimento de ferramentas acessíveis e de baixo custo destinadas à agricultura digital.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho e estabilidade dos dados de posição obtidos com módulo de Sistema de Navegação Global por Satélites (GNSS) de baixo custo;
- Avaliar a eficiência de transmissão de dados por módulo Serviços gerais de Pacote por Rádio (GPRS) de baixo custo;
- Avaliar acurácia e estabilidade de diferentes modelos de sensores de temperatura e umidade de baixo custo;
- Desenvolver mecanismo para determinação de patinagem de rodados de trator agrícola;

- Desenvolver sistema de aquisição e transmissão de dados de temperatura, umidade, velocidade de deslocamento e patinagem de rodados de trator agrícola;
- Desenvolver e avaliar estrutura para acomodação do sistema de aquisição e transmissão de dados dos módulos e sensores.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Hardware e Software: Arduino atuando como um sistema embarcado e conexões

A principal característica de um sistema embarcado reside na capacidade de interagir diretamente com o mundo físico, coletando dados por meio de sensores e controlando atuadores para influenciar o ambiente, que muitas vezes exigem respostas em tempo real (Marwedel et al.,2021; Mendez-Barroso et al., 2020). Os microcontroladores desempenham um papel fundamental na composição dos sistemas embarcados.

Uma das principais vantagens dos microcontroladores é sua capacidade de executar e armazenar *firmware* (classe específica de software de computador que fornece controle de baixo nível para o hardware específico do dispositivo). Além disso, eles podem absorver novas funções a partir da inclusão de Circuitos integrados (CI), que possibilitam comunicação USB, pilhas do TCP/IP (o conjunto fundamental de regras (protocolos) que permite a comunicação e troca de dados entre computadores na internet e redes privadas), comunicação de radiofrequência (RF), entre outras (Batista, 2024).

O Arduino é uma plataforma de código aberto (*open-source*) de prototipagem eletrônica, que possui uma estrutura que pode ser dividida em: hardware, que é a parte física que possibilita a regulação e o controle das tensões de saída do Arduino que possui 14 pinos digitais e 6 pinos analógicos. Adicionalmente, o hardware conta com uma entrada para fontes externas de até 12V, o que amplia sua possibilidade de uso. O software é baseado no seu

ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - *Integrated Development Environment*), parte programável de maneira explicativa (Alvarez et al., 2020).

Sua capacidade de operar como um sistema embarcado é amplificada por sua flexibilidade e pela riqueza de suas interfaces de entrada/saída (Blackstock et al., 2019). Sua programação é realizada em uma linguagem simplificada, baseada em C/C++, por meio do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), que facilita o processo de desenvolvimento e depuração do código que será carregado no Arduino (Cavalcante et al., 2011).

3.2 Placa de Circuito Impresso

A Placa de Circuito Impresso (PCI) é um componente básico, largamente utilizado em toda a indústria eletrônica, sendo constituída por uma placa (ou cartão) onde são impressas ou depositadas trilhas de cobre. Enquanto a placa se comporta como um isolante (dielétrico), as trilhas têm a função de conectar eletricamente os diversos componentes e as funções que estes representam (Melo, Gutierrez, Rosa, 2018).

A conexão entre o sensor e o módulo de leitura foi realizada através de conectores compensados do tipo K. Segundo as especificações técnicas da Omega Engineering (2023), esses conectores utilizam pinos de Chromel e Alumel para minimizar erros de medição por gradiente de temperatura na junção de conexão. No padrão ANSI, esses componentes são identificados pela cor amarela, garantindo a compatibilidade universal com sensores de cromel-alumel em sistemas de instrumentação.

Para a interface de potência e conexão de componentes externos, utilizam-se conectores do tipo borne, que garantem robustez mecânica através de fixação por parafuso (Metalmex, 2022). Para a distribuição interna dos sinais em circuitos, os conectores do tipo KK são empregados devido ao seu sistema de travamento por fricção e passo padronizado, o que evita inversões de polaridade.

Na etapa de validação do protótipo, o uso de cabos jumpers permite a interconexão rápida entre módulos e placas de ensaio sem a necessidade de soldagem permanente. Já o cabo flat destaca-se pela sua geometria plana, que facilita a organização espacial dentro do dispositivo (Molex, 2023).

3.3 Módulo GPS

O Sistema de Posicionamento Global (GPS - *Global Positioning System*) é originário do Departamento de Defesa dos Estados Unidos e é obtido por meio da aquisição de dados gerados simultaneamente por um conjunto de satélites que orbitam a Terra gerando sinais ininterruptos, permitindo identificar de forma precisa, posições em qualquer lugar do mundo.

O GPS diferencial (DGPS - *Differential Global Positioning System*), como é chamada uma das técnicas utilizadas nessa tecnologia (Perosa, 2000). Segundo Garmin (2014), certos fatores atmosféricos e lugares com grandes edifícios são fontes de erros que podem afetar a precisão da localização de um receptor GPS. Atualmente, o GPS é utilizado em diversos segmentos na sociedade, tendo o seu uso cada dia mais difundido (Assis, 2010).

O módulo shield GPS NEO-6M (U-BLOX, TAIWAN) possui extrema facilidade para ser usado por possuir apenas 4 pinos de conexão (GND, VCC, RX e TX) e padrão de comunicação serial. É um módulo de alto desempenho para uso com microcontroladores. Esse módulo é capaz de informar a localização exata, enviando dados referentes a latitude e longitude, data, hora e velocidade de deslocamento através de interface serial de 3,3 V (U-BOX, 2018).

3.4 Módulo GPRS

O Serviço Geral de Rádio por Pacotes (GPRS - *General Packet Radio Service*) é uma extensão do Sistema Global para Comunicações Móveis (GSM - *Global System for Mobile Communications*) que permite que os usuários transmitam e recebam dados através de conexões de comutação de pacotes (Bodic, 2005). A rede GPRS foi elaborada para disponibilizar tráfego de dados por pacote na rede GSM, esse serviço trouxe o benefício à rede de telefonia celular de ser interligada à internet. A arquitetura GPRS utiliza a mesma infraestrutura básica que as redes GSM, na qual inclui novos elementos de rede e interfaces e modifica alguns componentes já existentes (Ledesma, 2015).

O SIM800L é um módulo GSM/GPRS que possibilita diferentes formas de comunicação externa, como o envio e recebimento de mensagens SMS, ligações de voz e de dados além do acesso à internet por meio do serviço GPRS. O módulo opera com tensão mínima de 3.5V e possui tecnologia *quad band* embutida o que

permite seu suporte em quatro diferentes frequências com intervalo que vai de 850MHz a 1900MHz. Isso assegura que o módulo possui compatibilidade com as redes GSM em diferentes regiões do mundo (Assis, 2010).

A programação do SIM800L, foi feita através de comandos de atenção (AT - *Attention Command*), que são cadeias de caracteres que servem como identificador de comando. Estes comandos AT foram enviados através do pino serial para o módulo de rede GSM, que interpretou e realizou os comandos. Posteriormente, o módulo retornou a resposta, apontando que o comando foi bem-sucedido, se houve erro, ou então retornando uma outra saída requisitada através do comando (SIMCOM, 2015).

3.5 Sensores de temperatura e umidade

Sensores são dispositivos que variam suas propriedades elétricas (Resistência elétrica, capacitância, corrente elétrica), térmicas (temperatura, dilatação térmica), mecânicas (deformação, pressão, força), entre outras, sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer, direta ou indiretamente, um sinal que indica essa grandeza (Bastos, 2002). Tal conjunto de características é designado pelo formato do sinal de saída. Assim, um sensor apresenta propriedades de entrada, que podem ser de qualquer tipo, e propriedades elétricas de saída (Bolton, 1988).

Os sensores de temperatura e umidade são utilizados de forma isolada, como uma sonda ou componente de circuito individual, ou de forma conjugada a depender da aplicação ou metodologia utilizada no monitoramento sistêmico. Assim, é possível dispor sensores isolados na porção aquática do meio, bem como utilizar separadamente para análise do compartimento atmosférico (Domínguez-brito et.al., 2020; Hilal et.al., 2022).

3.5.1 Estações e abrigos meteorológicos de baixo custo

As Estações Meteorológicas, são equipamentos que possuem um conjunto de sensores capazes de coletar e registrar dados como a temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade do ar, radiação solar, chuva, pressão atmosférica e outras variáveis. As estações meteorológicas geralmente são classificadas como convencionais e automáticas (Perazzi et al., 2021). Este artigo abordará apenas as

estações automáticas.

As Estações Automáticas tem como principal vantagem trabalhar de forma autônoma, armazenando os dados climatológicos de acordo com a configuração realizada. Essas estações possuem sensores que convertem os eventos físicos em sinais elétricos que são enviados para um *datalogger* (dispositivo eletrônico que registra dados ao longo de um tempo de algum instrumento e tem capacidade de transmiti-los via internet (Braga; Braga; Fernandes, 2011). Com o intuito de contornar a falta de equipamentos e padronizar suas pesquisas, os pesquisadores baseiam-se na experiência e na criatividade para a construção de equipamentos de baixo custo (Valin Jr et al., 2016).

3.6 Sensores indutivos para estimativa de deslocamento

Os sistemas mecanizados mais avançados contam com monitores ou controladores eletrônicos, os quais utilizam informações de velocidade obtidas por meio de sensores (Antuniassi et al., 2001).

A instrumentação eletrônica em tratores agrícolas envolve a instalação de sensores eletrônicos, que fornecem dados através de pulsos, possibilitando avaliar o desempenho quando em condições semelhantes às de campo (Russini, 2009).

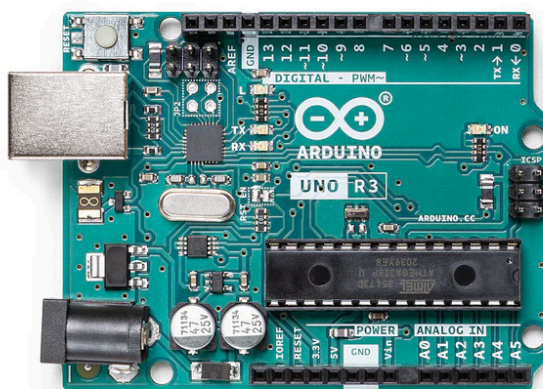
Os sensores indutivos são emissores de sinal que detectam, sem contato direto, elementos metálicos que atravessam o seu campo magnético convertendo em um sinal elétrico inteligível. Esses sensores podem ser aplicados em diferentes funções relacionadas à percepção de proximidade.

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 Arduino

O principal componente do sistema, responsável pelo controle e execução das atividades foi a placa Arduino UNO R3 (Figura 1). O dispositivo é construído em volta do microcontrolador ATmega328P, que dispõe de 32 kB de memória flash e 2kB de memória RAM, valores considerados como suficientes para o desenvolvimento do projeto. A placa possui tensão de operação de 5V ou 3.3V, para alimentação via USB.

Figura 1: Arduino Uno R3



Fonte: arduino.cc

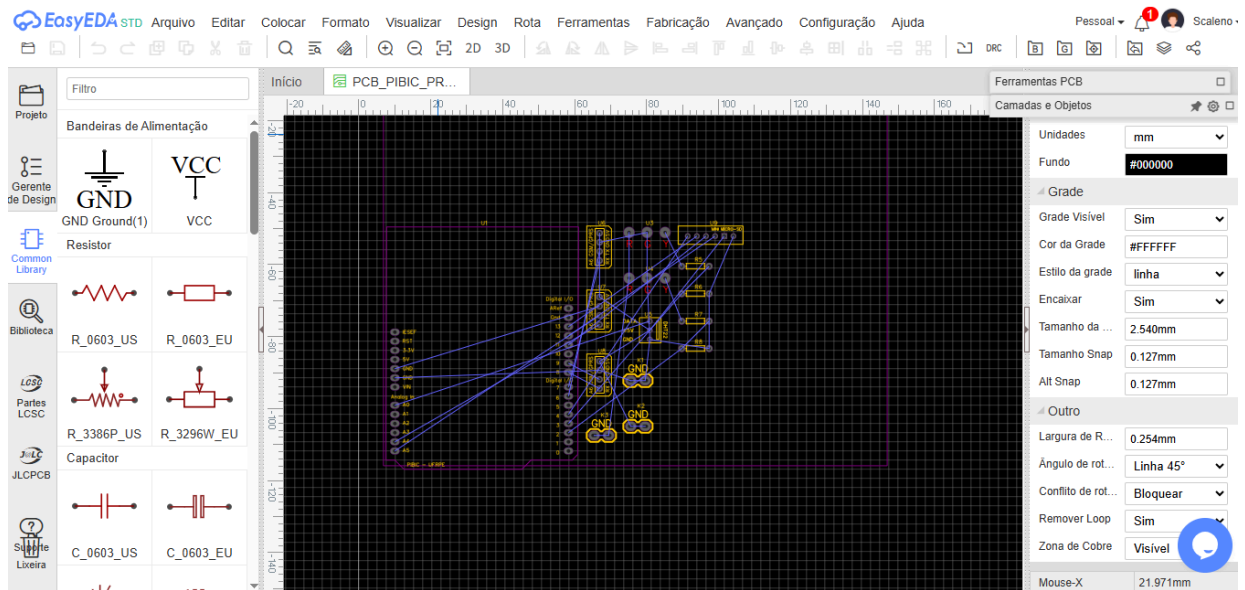
Para a montagem do hardware do projeto, os componentes foram organizados em uma caixa de acrílico por ser um material leve, resistente e de fácil manuseio, como forma de facilitar a disposição e manutenção do conjunto.

No interior foram instalados a placa de circuito impresso integrada à placa Arduino, juntamente aos módulos GPS, GPRS e micro SD, além das conexões destinadas ao Display LCD, sensor de temperatura e umidade, sensores indutivos e as antenas dos módulos de comunicação. No exterior, foi instalado o display LCD, para visualização das informações referentes ao módulo GPS e sensor de temperatura e umidade, que possibilitou o monitoramento das variáveis medidas durante o funcionamento do sistema.

4.2 Placa de Circuito Impresso

As conexões entre os componentes do sistema, foram feitas inicialmente por cabos jumpers que funcionam como condutores metálicos que irão transportar as cargas elétricas. Apresentaram bastante instabilidade durante o envio, recebimento de dados e alimentação do sistema. Para solucionar o problema, foi projetada e desenvolvida uma Placa de Circuito Impresso, que visou maior estabilidade e segurança entre as conexões. A placa foi projetada na área de trabalho do *software* da EasyEDA (Figura 2). A confecção foi realizada pela própria empresa EasyEDA.

Figura 2: Área de trabalho do Software EasyEDA

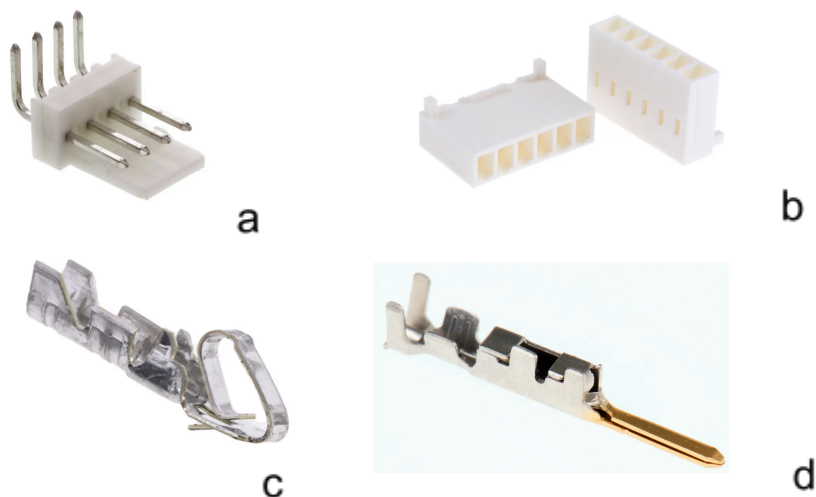


Fonte: *Software EasyEDA*

A placa de circuito impresso foi formada por oito sub circuitos, que fazem a conexão entre os módulos GPRS, GPS e MicroSD e sensores de temperatura e umidade e indutivos. Foram utilizadas três diferentes variações de conexões de conectores (Figura 3a e Figura 3b), e variações de terminais dos conectores da placa (Figura 3c e Figura 3d).

Foram utilizados conectores do tipo bornes (Figura 4a), de 2 e 3 vias para a conexão da fonte de alimentação do sistema e conexão dos sensores indutivos. Por meio de cabos flat (Figura 5b), foram feitas as conexões responsáveis pela maior segurança na transmissão dos dados.

Figura 3: Conexões e cabos para fixação na placa de circuito Impresso



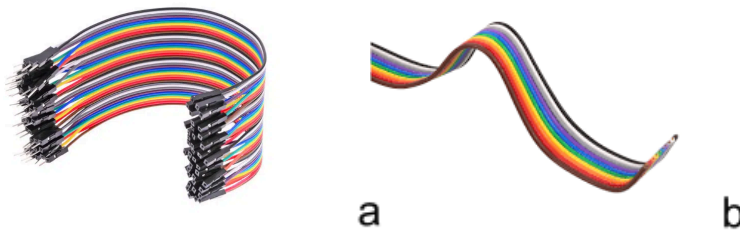
Fonte: <https://www.molex.com/content/dam/molex/molex-dot-com/products/automated/en-us/product-specificationpdf/100/1007/PS-10-07-001.pdf>

Figura 4: Conectores tipo borne



Fonte: Molex.com

Figura 5: Cabos jumper e cabos flat

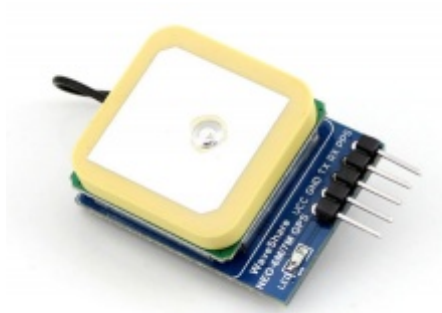


Fonte: Makerhero.com

4.3 Módulo GPS

O módulo GPS neo-6m (Figura 6) foi utilizado para realização dos testes estáticos e dinâmicos. Para isso, foi necessário a implementação das bibliotecas *SoftwareSerial.h* e a *TinyGPS* facilitaram a conversão, identificação e leitura dos dados obtidos pelo GPS, possibilitando a realização de testes em diferentes ambientes com e sem coberturas arbórea e presença de construções, a fim de avaliar a influência de interferências no sinal.

Figura 6: Módulo GPS NEO-M



Fonte: Waveshare.com

Para validação do módulo, os experimentos foram conduzidos juntos ao receptor GPS Topcom Hiper SR (Figura 7), referência em fazer a correção diferencial. O equipamento é usado para rastreamento otimizado dos satélites GPS e GLONASS, assegurando maior eficiência na qualidade de aquisição de dados.

Figura 7: Receptor, base e rover GPS Topcom Hiper SR



Fonte: https://www.topconpositioning.com/content/dam/topcon_digital.pdf

Testes com o módulo GPS foram conduzidos em diferentes locais, com e sem presença de cobertura natural de árvores e causada por edifícios, por meio da coleta de pontos identificados no *software* QGIS (Figura 8) com o objetivo de avaliar a influência dessas coberturas no desempenho do dispositivo. Os dados foram utilizados para cálculo da área e perímetro do percurso realizado.

Figura 8: Identificação de pontos coletados com o módulo GPS



Fonte: Elaborado pelo autor

A área utilizada para os experimentos (Figura 9) localiza-se na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) onde os dados foram obtidos. Para a realização desses experimentos, o módulo GPS foi instalado em um trator equipado com arado de 0,9 metros de largura, utilizado como implemento para validação funcional do dispositivo. Posteriormente à coleta, houve o processamento dos dados pelo software QGIS versão 3.44.2, permitindo a leitura, interpretação e utilizando a ferramenta de calculadora de campo, foi feito o cálculo da área e perímetro trabalhado.

Figura 9: Localização da área de experimento



Fonte: Elaborada pelo autor

transmitidos por meio do módulo de comunicação operando em rede de telefonia móvel ou GPRS, e as informações coletadas foram armazenadas em banco de dados (Figura 12) estruturado em Linguagem de Consulta Estruturada - SQL (*Structured Query Language*) e hospedadas em servidor web, para posteriores consultas.

Figura 12: Dados coletados e armazenados em banco de dados

The screenshot shows a web interface for a database query. At the top, there is a SQL query: `SELECT * FROM `SIM800Table` ORDER BY `id` ASC`. Below the query, there are several interactive elements: a 'Perfil' button with sub-options like 'Editar em linha', 'Editar', 'Demonstrar SQL', 'Criar código PHP', and 'Atualizar'; a 'Mostrar tudo' checkbox; a 'Número de linhas' dropdown set to 25; and a 'Filtrar linhas' search box with the placeholder 'Procurar nesta tabela'. Below these controls, there is a '+ Opções' link and a table of data. The table has the following structure:

id	Data	Hora	Lat	Longi	TempC	Humi	Vel	Pat
1	22/12/2021	16:36:26	-8,017423	-34,946624	29,6	56,7	0,015	
2	22/12/2021	16:36:47	-8,017421	-34,946618	29,7	56,8	0,005	
3	22/12/2021	16:37:05	-8,017420	-34,946626	29,5	56,7	0,008	
4	22/12/2021	16:37:31	-8,017426	-34,946619	29,8	56,8	0,0017	

At the bottom of the table, there are the same controls as above: 'Mostrar tudo' checkbox, 'Número de linhas' dropdown (25), and 'Filtrar linhas' search box.

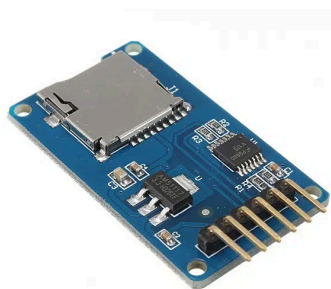
Fonte: Elaborado pelo autor

Para a validação do desempenho do módulo, foram feitos testes com diferentes intervalos de tempo (10,20,40 e 60 segundos), de modo a avaliar os parâmetros de qualidade e transmissão, assim como eficiência e taxa de perda de pacotes de dados, visando identificar o período mais adequado para a transmissão de dados, além da forma mais eficiente de reduzir perdas e otimizar a integração dos dados.

4.5 Módulo de armazenamento

O módulo de cartão microSD (Figura 13) realizou a interface deste tipo de dispositivo de memória com a placa microcontrolada (Arduino). Para a leitura e escrita de dados, foi incluída no código a biblioteca "SD.h". O módulo foi utilizado para armazenamento dos dados coletados pelo GPS e pelos sensores de temperatura e umidade.

Figura 13: Módulo Micro SD

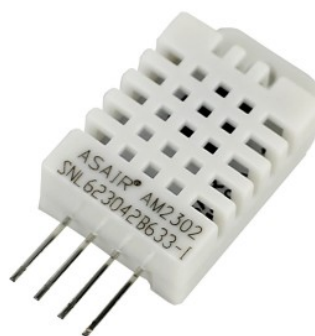


Fonte: Makerhero.com

4.6 Sensores de temperatura e umidade

O sensor de temperatura e umidade DHT22 (Figura 14), foi utilizado para fazer a realização de testes em diferentes intervalos de tempo, possibilitando a comparação com dados disponibilizados pela plataforma “Clima Tempo”.

Figura 14: Módulo DHT22



Fonte: usinainfo.com.br/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302

Visando melhorar a precisão das medições em âmbito local, foram adquiridos sensores de modelo SHT20, SHT30 e SHT40 (Figura 15a, 15b e 15c). Esses dispositivos possuem a mesma faixa de medição de temperatura entre -40° e 125° graus Celsius e de umidade relativa do ar em uma faixa de 0% até 100%. A principal diferença entre os três sensores da família SHT é o custo para aquisição de cada um deles. Para o bom funcionamento dos sensores, é necessário uma tensão de alimentação entre 3.3 V a 5.5 V, sendo 5 V a tensão recomendada pelo fabricante.

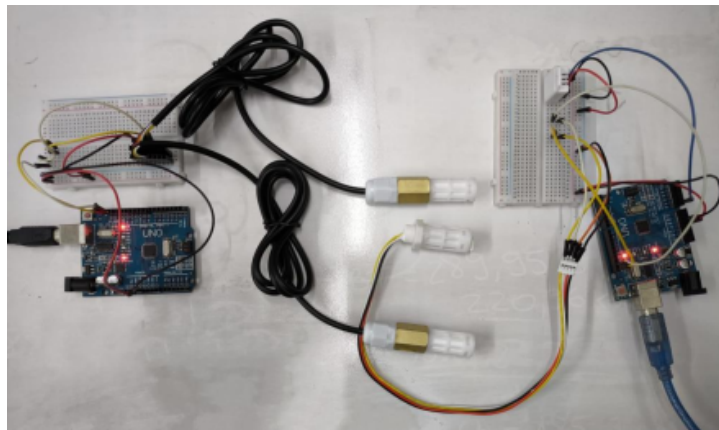
Figura 15: Sensores de temperatura e umidade



Fonte: MercadoLivre.com

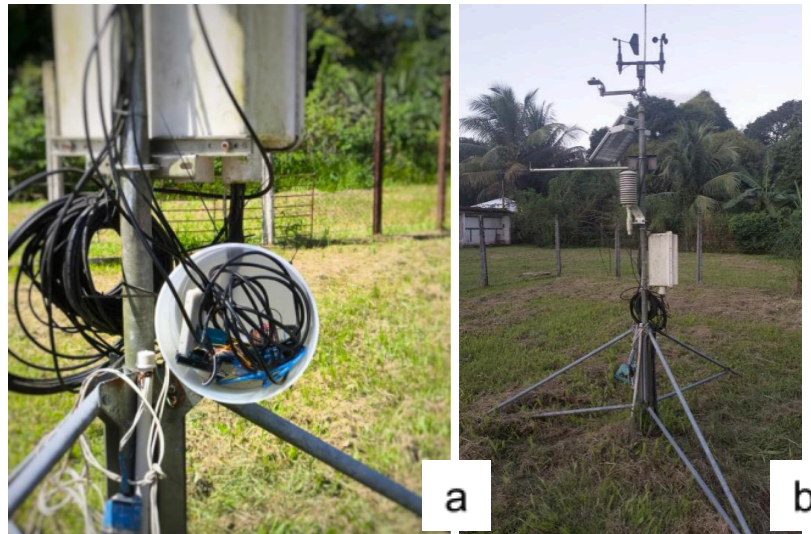
Para a medição dos valores dos sensores da família SHT, foi necessário a utilização de algumas bibliotecas como a “SHT31.h”, “DFRobot_SHT20.h” e “Adafruit_SHT4x.h”. A comunicação entre o Arduino Uno R3 e os sensores foi estabelecida via protocolo *Inter-Integrated Circuit* - I²C, e por alguns sensores possuírem o mesmo número de série, o que atrapalhou na leitura pelo Arduino, foi necessário a utilização de dois microcontroladores, como forma de garantir o reconhecimento de cada um dos sensores. O sistema (Figura 16) foi levado a campo (Figura 17), em um abrigo para proteção contra radiação direta, vento e chuva, e adicionado ao sistema, o módulo micro SD para armazenamento dos dados.

Figura 16: Esquema de testes com sensores de temperatura e umidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17: Teste dos sensores de temperatura e umidade em ambiente aberto junto a estação meteorológica



Fonte: Elaborada pelo autor

As coletas foram feitas às 08h00, 13h00 e 16h00, nas dependências da UFRPE, junto à estação meteorológica *Campbell* (*datalogger* CR1000).

Após os testes com os sensores de temperatura e umidade DHT22 e os da família SHT, foram feitas as análises dos dados no *software* RStudio, por meio do teste-t de média com 5% de significância nos resultados, obtivemos os seguintes resultados.

Após a conclusão da estrutura de abrigo dos sensores e estruturação de suporte e acomodação desses abrigos, houve a realização de novos testes para verificar a eficiência dessas estruturas por meio da comparação com os dados anteriores ao abrigo.

4.6.1 Abrigo meteorológico

Devido a necessidade contínua de alimentação para os sensores e para a placa Arduino, foram adicionados ao projeto um módulo de energia solar, associado a um controlador de carga (Figura 18a), visando o aumento da autonomia do projeto, e por fim, uma bateria nobreak 12V (Figura 18b) para alimentação do sistema.

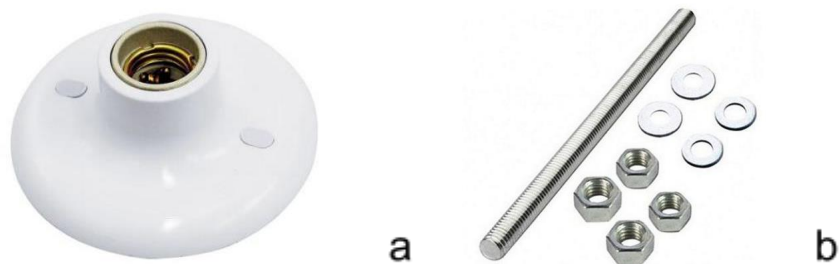
Figura 18: Equipamento para autonomia do projeto



Fonte: MercadoLivre.com

Para garantir a proteção dos sensores, foi planejado e desenvolvido um abrigo com materiais de baixo custo, acompanhado de uma estrutura de sustentação. A construção desse abrigo foi realizada com a utilização de 20 luminárias de teto do tipo plafon em PVC (Figura 19a), fixadas por meio de barras roscadas e porcas (Figura 19b).

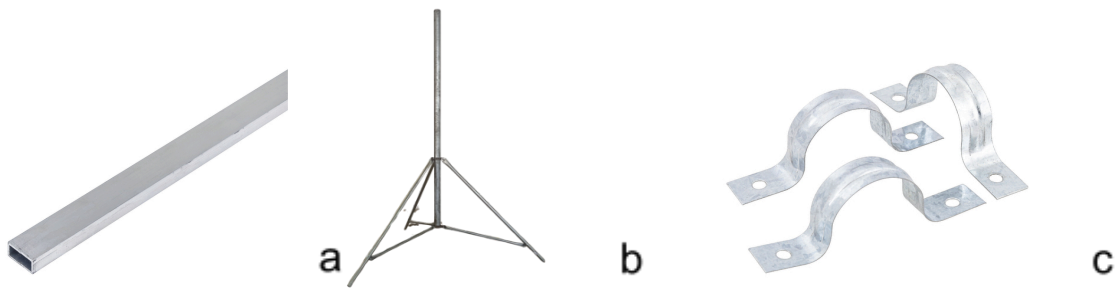
Figura 19: Materiais usados para a construção do abrigo



Fonte: MercadoLivre.com

Para o suporte dos abrigos e da estrutura de *hardware* do projeto foram utilizados dois perfis metálicos retangulares de 80 cm de comprimento por 3 cm de largura (Figura 20a). Adicionalmente, na construção do tripé de sustentação foram utilizados sete tubos de aço galvanizado de diferentes dimensões (Figura 20b) e unidos por braçadeiras (Figura 20c).

Figura 20: Materiais usados para a construção da estrutura de suporte dos abrigos e da caixa de passagem



Fonte: a e b) MercadoLivre.com, c) elaborado pelo autor

Após a finalização da estrutura, foi realizado um levantamento dos custos de cada equipamento utilizado. O mesmo foi realizado com o intuito de verificar se um dos pontos abordados no projeto, o de “baixo custo” foi atendido.

4.7 Sensores indutivos para estimativa de deslocamento

Para os testes de estimativa de velocidade de deslocamento do trator, foi utilizado o sensor indutivo Negativo, Positivo, Negativo - NPN de 3 fios, modelo LJ12A3-4-Z/BX (Figura 21).

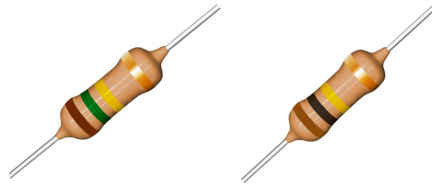
Figura 21: Sensor Indutivo modelo LJ12A3-4-Z/BX



Fonte: saravati.com.br/sensor-de-proximidade-indutivo-lj12a3-4-z-bx-dc6v-36v-npn

O sensor apresenta alta impedância, que é a oposição total de um circuito elétrico à passagem de corrente alternada, combinando a resistência e a reatância (X), o que levou a utilização de um divisor de tensão na saída do sinal fazendo com que a leitura fosse possível. Contudo, sua alimentação requer tensão contínua (DC) entre 6 à 36 V. Para isso, foram utilizados resistores de 150 k e 100 k, respectivamente (Figura 22).

Figura 22: Resistores utilizados no projeto



Fonte: Eletrogate.com

Para a continuidade dos testes, foi desenvolvido uma estrutura para simulação do funcionamento dos sensores, como forma de obtenção dos dados referentes à velocidade de rotação de uma roda metálica. O sistema foi composto por um motor elétrico de 12V (Figura 23a), responsável pela movimentação e controle da velocidade de rotação do disco. A alimentação do conjunto foi realizada por duas fontes externas de 12V (Figura 23b), destinadas ao fornecimento de energia ao motor e à alimentação do sensor indutivo. Uma ponte H do tipo ITB 2 (Figura 23c), foi utilizada para o controle do sentido e da velocidade de rotação do motor, que permitiu o acionamento e ajuste da rotação por meio da modulação por largura de pulso (PWM).

Figura 23: Sistema de alimentação e funcionamento do protótipo para testes com o sensor indutivo



Fonte: TWTcomponentes.com

Para o funcionamento dos dois sensores de forma simultânea, foi desenvolvida uma estrutura elaborada em uma placa ilhada, que é uma placa de circuito impresso com furos, ou ilhas de cobre isoladas, usada para montar circuitos

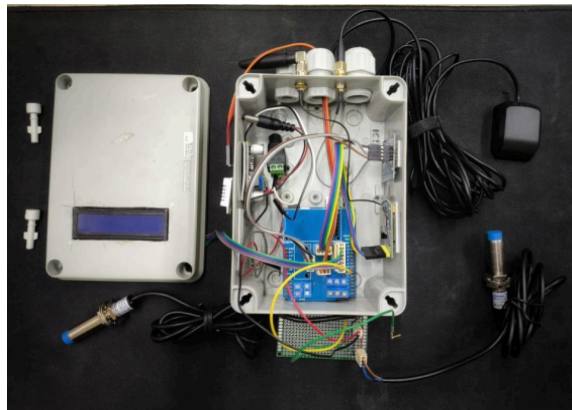
eletrônicos de forma definitiva. Foram utilizados no esquema de montagem, cabos com conectores e terminais tipos KK e resistores de 100k e 150k.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Integração do Arduino e os demais componentes no trator

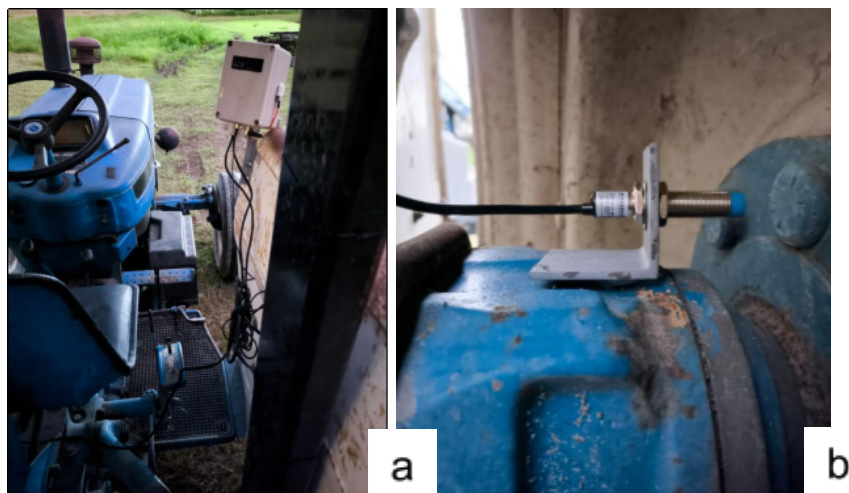
Após a montagem do sistema (Figura 24a), foi realizada a instalação do equipamento no trator (Figura 25a e 25b), de modo que os componentes foram posicionados de forma a otimizar sua funcionalidade, facilitar o manuseio e visualização. Os cabos de conexão dos sensores indutivos e da antena GPS, foram organizados de maneira que não interferisse o funcionamento normal do trator nem houvesse o comprometimento da condução das máquinas.

Figura 24: Montagem do *hardware* do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25: Posicionamento do sistema no trator

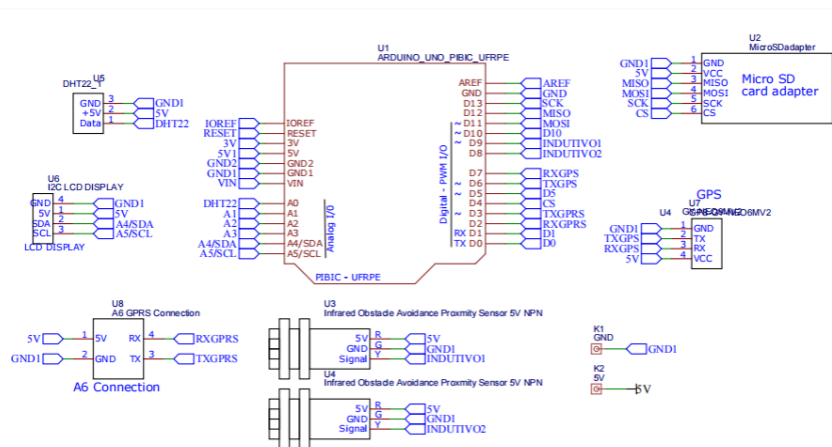


Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 Desenvolvimento e funcionamento da Placa de Circuito Impresso

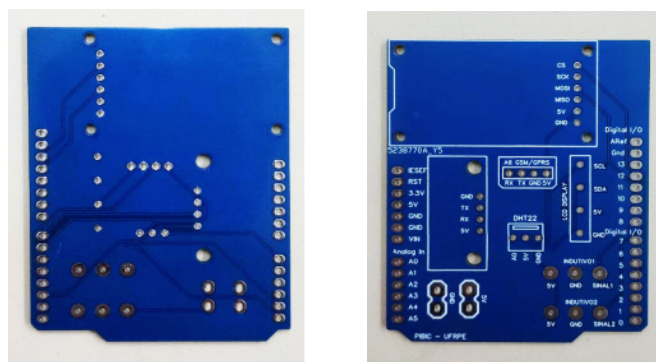
Com o desenvolvimento de toda parte esquemática do circuito elétrico (Figura 26) para integração dos componentes do sistema, foi feito o pedido para produção da placa. O circuito projetado, foi transferido para uma placa de vidro revestida com laminado de cobre (Figura 27), material responsável pela formação das trilhas que interligam os componentes eletrônicos.

Figura 26: Desenho esquemático do circuito elétrico da Placa de circuito Impresso



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27: Placa de circuito Impresso

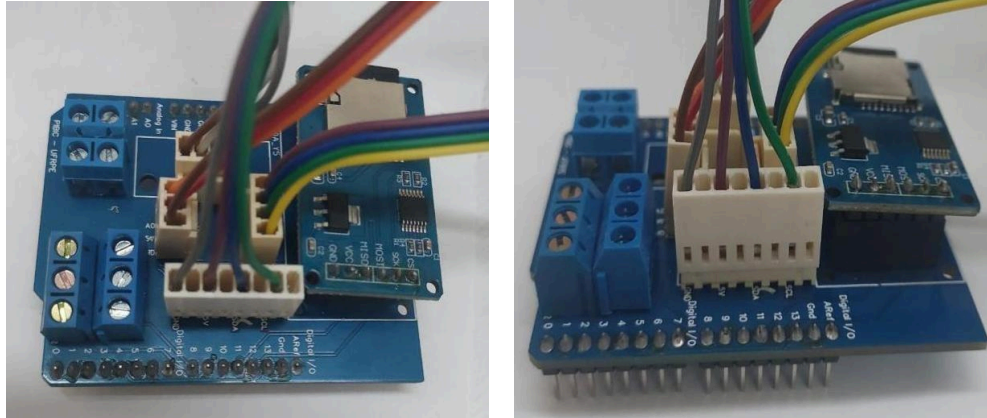


Fonte: Elaborado pelo autor

Após a produção da placa, conforme a (Figura 28) foi feita a fixação dos conectores utilizando da solda de estanho, classificada como uma solda branda ou por fusão e que utilizam arco elétrico ou gás para derreter os metais-base e o

material de adição, garantindo estabilidade para as conexões e com os cabos flat, foram feitas as conexões entre a placa e sensores e módulos.

Figura 28: PCB com os componentes soldados



Fonte: Elaborado pelo autor

5.3 Aquisição de dados e cálculo de área com o GPS

Com o desenvolvimento do código-fonte para funcionamento do módulo GPS e com a inclusão das bibliotecas *SoftwareSerial.h* e a *TinyGPS* para a conversão dos dados, foram obtidas as leituras correspondentes a data, horário, latitude, longitude e altitude (Figura 29).

Figura 29: Leitura dos dados obtidos com o GPS e convertidos

```

COM3
-----
O gps aguarda pelo sinal dos satelites...
-----
Data (GMT): 19/12/2021
Horario (GMT): 13:58:32
Latitude: 8,017422 S
Longitude: 34,946617 'O
Altitude (m): 155,061657
-----

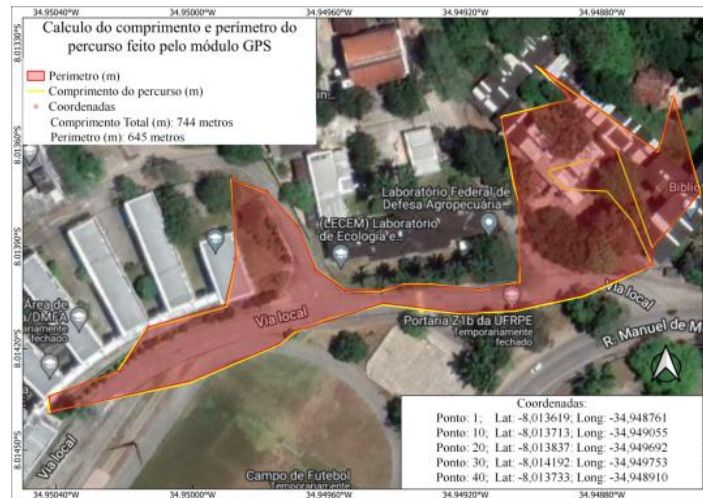
Data (GMT): 19/12/2021
Horario (GMT): 13:59:32
Latitude: 8,017422 S
Longitude: 34,946617 'O
Altitude (m): 155,061657
-----

```

Fonte: Elaborado pelo autor

Na (Figura 30) podemos verificar uma forte incidência de árvores e edifícios no percurso do GPS, por esse motivo, os dados representados não apresentaram exatidão ao local e momento onde foram coletados, interferindo no resultado dos cálculos de área e perímetro apresentados.

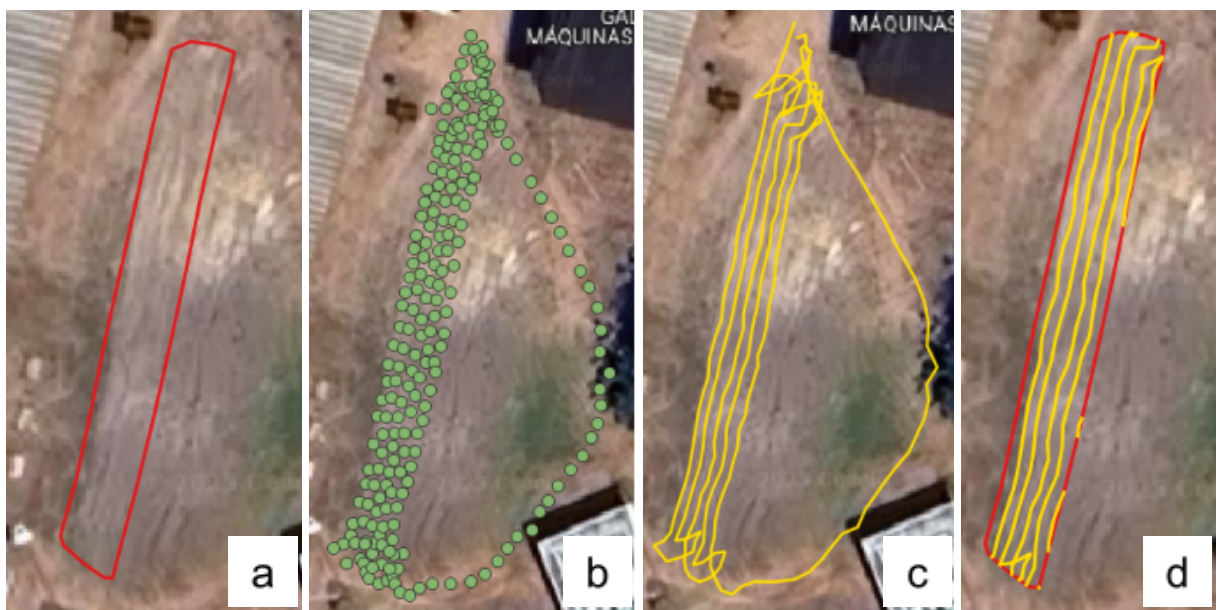
Figura 30: Mapa de cálculo de área e perímetro produzido no QGIS



Fonte: Elaborado pelo autor

Após o posicionamento da antena do GPS na parte superior do trator, foi feito a coleta de dados de forma dinâmica em área anteriormente delimitada (figura 31a), logo em seguida, foi feito o processamento desses dados pelo software QGIS, conversão dos pontos coletados pelo GPS em linhas (figura 31b e 31c), e por fim foi realizado o somatório para comparação com a área do experimento delimitado anteriormente (Figura 31d).

Figura 31: a) área do experimento; b) Pontos coletados com o módulo GPS c) Conversão dos pontos coletados em linha; d) sobreposição das linhas obtidas com a coleta de pontos na área de experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 1, observa-se que o valor obtido pelo cálculo da área apresentou divergência em relação ao real valor da área, isso ocorreu devido a sobreposição de algumas linhas nas bordas da área de trabalho, que resultou em uma área calculada levemente inferior ao valor real. Contudo, os resultados demonstraram que o módulo foi capaz de realizar o rastreamento de forma eficiente.

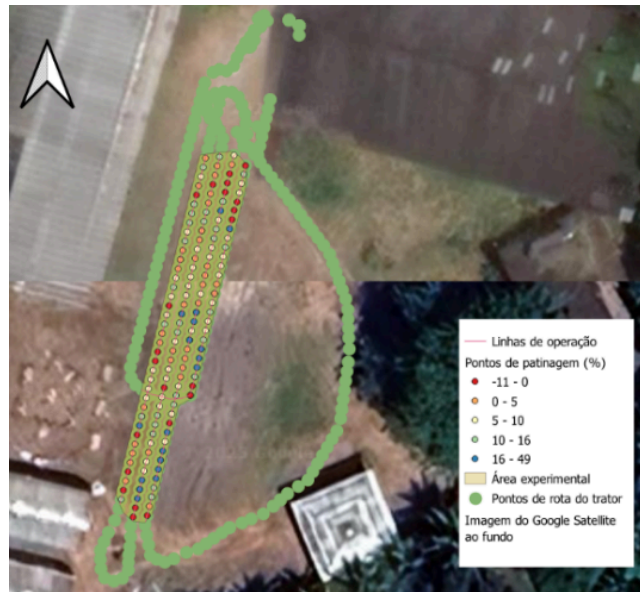
Tabela 1: Comparação da área de trabalho e a área obtida pelos somatórios das linhas

	m²
Área de trabalho	241
Área obtida pelo somatório das linhas	232

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos dados coletados pelo módulo GPS, foram obtidos os valores correspondentes à patinação. A Figura 32 apresenta uma visualização detalhada dessas análises. Os pontos em azul, indicam provavelmente, áreas com umidade acima da capacidade de campo, no qual o solo não é capaz de absorver toda a água ali presente — e isso indica onde foram registrados os maiores índices de patinação. Por outro lado, os pontos em vermelho representam os locais com valores negativos de patinação, o que na teoria seria impossível, mas isso aconteceu devido estes pontos coincidirem com as regiões mais periféricas, nesse caso, as regiões próximas a árvores e edificações, que causou a interferência na qualidade do sinal do GPS.

Figura 32: Representação dos dados de velocidade para obtenção da patinagem



Fonte: Elaborado pelo autor

5.4 GPRS

Durante os testes, a qualidade dos sinais das operadoras 1 e 2, foram de 20 db e 27 db respectivamente. Na Tabela 2, vemos que aproximadamente 4% dos pacotes de dados enviados por ambas operadoras foram perdidos. Esses valores podem variar em áreas rurais, devido a disponibilidade e cobertura de dados móveis, o que pode comprometer a qualidade do sinal.

Tabela 2: Comparação na qualidade de envios de pacotes de dados pelas operadoras 1 e 2, destacando o número e porcentagem de dados perdidos durante o processo.

Operadora 1		Operadora 2	
Enviados	907	Enviados	997
Perdidos	36	Perdidos	46
% de dados perdidos	3,97%	% de dados perdidos	4,61%

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação ao intervalo de tempo ideal para o envio de dados (Tabela 3), em ambas operadoras, os menores valores de perdas de pacotes foram observados quando os intervalos de dados excedem os 20 segundos. Especificamente, a operadora 1 apresentou os menores valores de taxa de perda de dados com os

intervalos de 40 e 60 segundos entre envios com 0,80% e 1,20%, respectivamente.

Tabela 3: Comparação do tempo ideal para envio de dados pelas operadoras 1 e 2

	Operadora 1				Operadora 2			
	10s	20s	40s	60s	10s	20s	40s	60s
Intervalo de tempo								
Dados perdidos	27	4	2	3	16	11	9	10
%	11,02%	2,44%	0,80%	1,20%	6,40%	5,12%	3,60%	3,55%

Fonte: Elaborado pelo autor

5.5 Sensores de Temperatura e Umidade

As Tabelas 4 e 5, abordam as comparações feitas entre as médias obtidas por meio do teste t para os respectivos sensores nos períodos mencionados. Esses testes foram feitos inicialmente em comparação entre a estação meteorológica Campbell e o DHT22, e posteriormente o DHT22 com os demais sensores.

Tabela 4: Comparação dos dados coletados às 08 horas da manhã entre a estação Campbell e os demais sensores, por meio da análise de médias em teste t

	Campbell	DHT22	SHT20	SHT30	SHT40
Temperatura (°C)	29.85 A	33.14 B	32.61 B	32.48 C	32.32 C
Umidade (%)	88.73 A	55.99 B	59.57 C	54.13 D	60.07 C

*5% de significância pelo teste-t

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5: Comparação dos dados coletados às 16 horas da manhã entre a estação Campbell e os demais sensores, por meio da análise de médias em teste t

	Campbell	DHT22	SHT20	SHT30	SHT40
Temperatura (°C)	28.34 A	31.76 B	32.57 C	31.26 B	31.72 B
Umidade (%)	90.39 A	66.24 B	67.57 C	64.34 B	66.86 B

*5% de significância pelo teste-t

Fonte: Elaborada pelo autor

As Tabelas 6 e 7, abordam as variações entre os valores de temperatura e umidade dos sensores. Percebe-se pequenas diferenças de temperatura e variações mais expressivas nos valores de umidade relativa, todas em comparação com os valores de referência, motivadas pela exposição direta ao sol e ao vento, uma vez que os testes foram realizados anteriormente à construção e utilização do abrigo.

Tabela 6: Diferenças entre os dados coletados às 08 horas pelos sensores e a estação Campbell.

	DHT22	SHT20	SHT30	SHT40
Temperatura (°C)	3.42	4.23	2.92	3.38
Umidade (%)	24.15	22.82	26.03	23.53

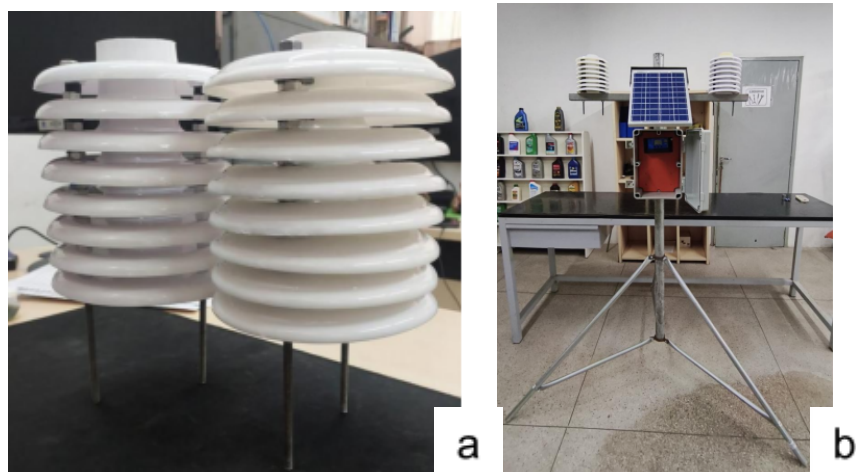
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 7: Diferenças entre os dados coletados às 16 horas pelos sensores e a estação Campbell.

	DHT22	SHT20	SHT30	SHT40
Temperatura (°C)	3.29	2.76	2.63	2.47
Umidade (%)	32.74	29.16	34.60	28.66

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 33: Abrigos para os sensores e estrutura de suporte e acomodação.



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a conclusão da estrutura e abrigos dos sensores, foi feito o levantamento dos custos (Tabela 8), que teve um custo de aproximadamente R\$390,00 (trezentos e noventa reais). Esse valor se encontra abaixo das estações meteorológicas que se encontram no mercado atualmente, além de representar um dos pontos destacados no projeto, que é o de trazer um baixo custo para essas ferramentas.

Tabela 8: Custo com os equipamentos e materiais utilizados para desenvolvimento do projeto

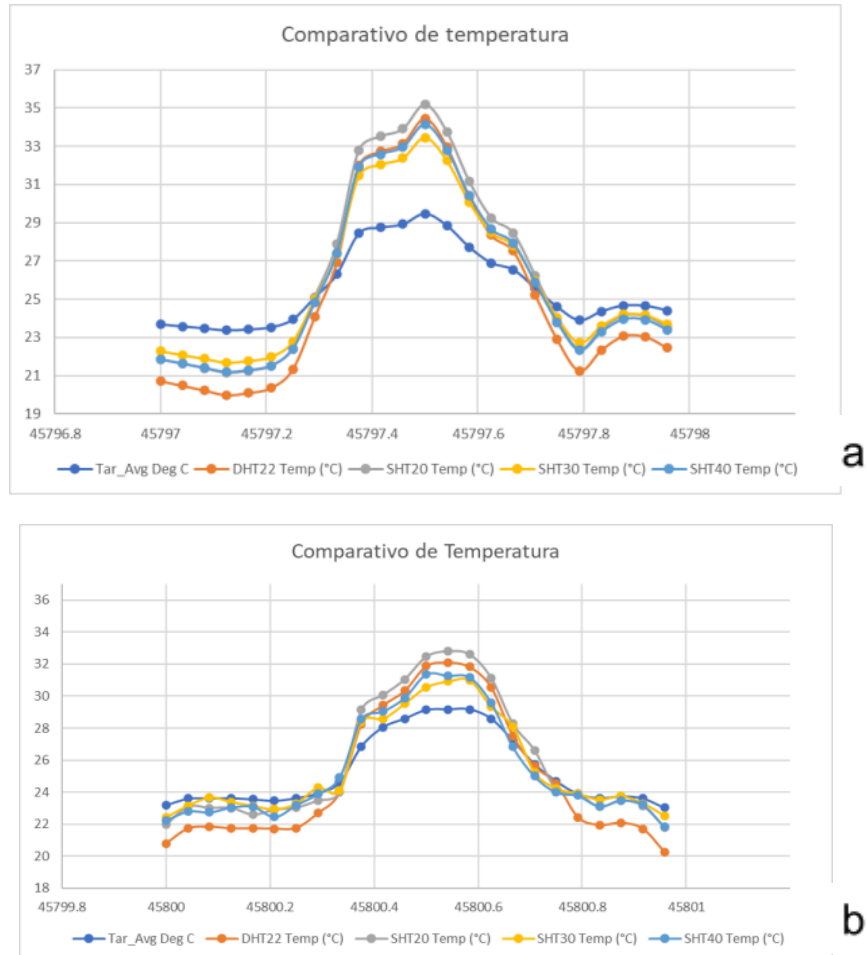
Material	Quant.	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Tubo de aço galvanizado	5	R\$ 6,99	R\$ 34,95
Abraçadeiras metálicas	6	R\$ 5,30	R\$ 31,80
Painel solar	1	R\$ 78,99	R\$ 78,99
Controlador de carga solar	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Bateria 12v	1	R\$ 73,91	R\$ 73,91
Sensor de Temperatura e umidade	1	R\$ 29,99	R\$ 29,99
Microcontrolador Arduino Uno	1	R\$ 39,90	R\$ 39,90
Módulo GPRS (SIM 800L)	1	R\$ 33,00	R\$ 14,99
Placa de circuito Impresso (PCB)	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Conector do tipo "KK"	4	R\$ 0,80	R\$ 3,20
Conector do tipo "Borne"	4	R\$ 1,50	R\$ 6,00
Cabos, resistores e demais componentes	12	R\$ 0,20	R\$ 2,40
Total			R\$ 391,13

Fonte. Elaborado pelo autor

Com os testes realizados, foram feitas as análises e comparações dos dados coletados pelos sensores antes e depois da instalação dos abrigos, em relação à estação de referência. Tanto nas (Figuras 34b) e as (Figuras 35b) que se referem

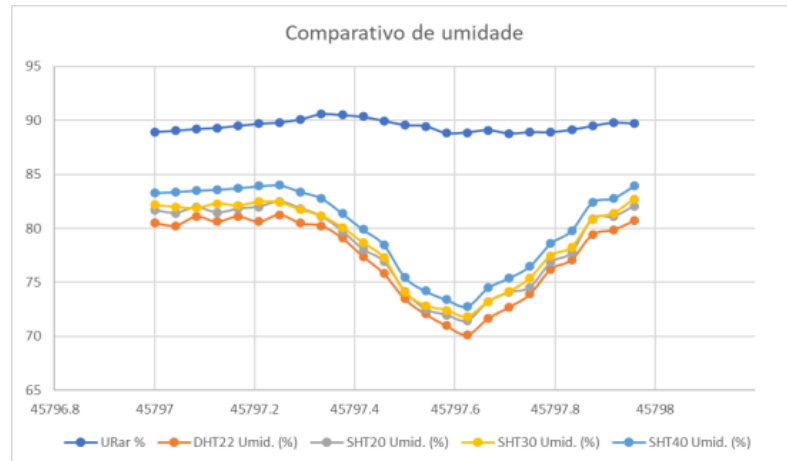
aos dados de temperatura e umidade respectivamente, após a adoção do abrigo, é possível observar uma proximidade dos dados em relação à referência (linha azul), em comparação com as (Figura 34a) e (Figura 35a), onde se referem aos dados antes a adoção do abrigo.

Figura 34: Comparativo dos dados de temperatura antes e depois do abrigo.

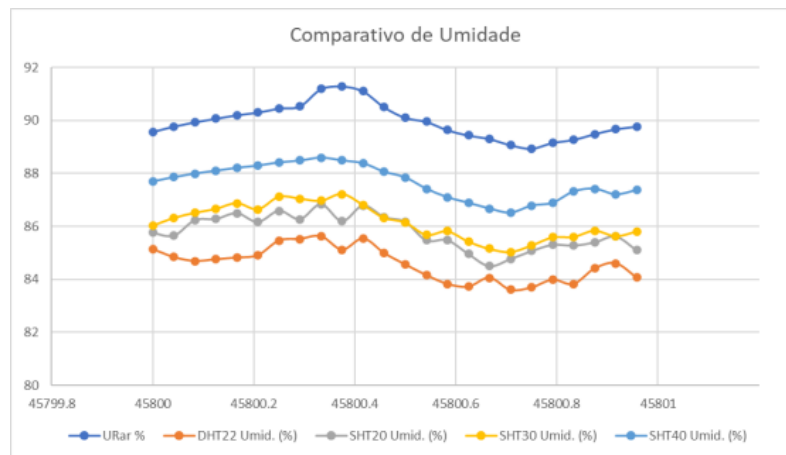


Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 35: Comparativo dos dados de umidade antes e depois do abrigo.



a



b

Fonte: Elaborada pelo autor

Entre os modelos analisados, os sensores SHT30 e SHT40 demonstraram maior estabilidade e apresentaram valores mais próximos aos registrados pelo sistema de referência (Campbell CR1000).

5.6 Sensores Indutivos para estimativa de velocidade

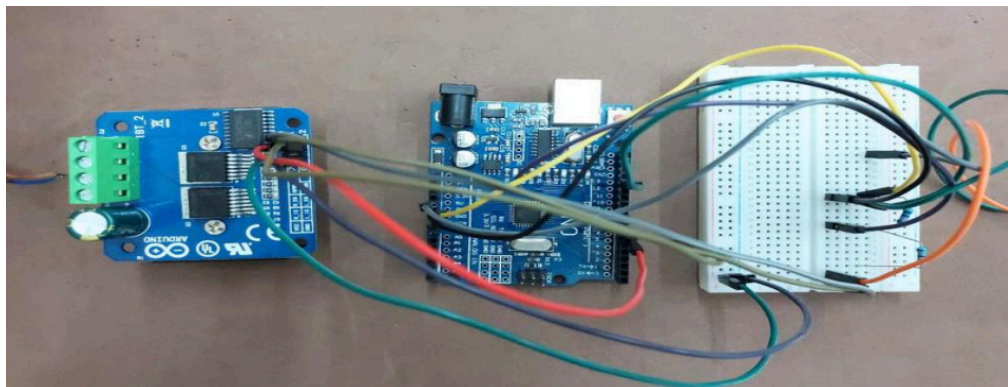
Com o desenvolvimento do protótipo para realização dos testes de bancada com o sensor indutivo (Figura 36), foi possível fazer alterações no código do sensor e verificar sua funcionalidade, antes de serem feitos os testes dinâmicos. Na (Figura 37), encontram-se os equipamentos utilizados para alimentação e acionamento do motor.

Figura 36: Protótipo para realização dos testes de bancada com o sensor indutivo



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 37: Equipamento para acionamento do motor e alimentação do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 9, mostra as velocidades obtidas durante os testes da estrutura de simulação. Os resultados apresentados foram limitados devido à capacidade de funcionamento do motor, mas que se equiparam, ou são maiores com as encontradas em campo. É possível observar também os valores de intervalo de tempo para uma volta completa em milissegundos, a velocidade calculada e a velocidade convertida para a unidade padrão.

Tabela 9 - Velocidades obtidas com o sensor indutivo durante os testes.

Velocidade do motor (%)	Intervalo (ms)	Velocidade (Km/h)
-------------------------	----------------	-------------------

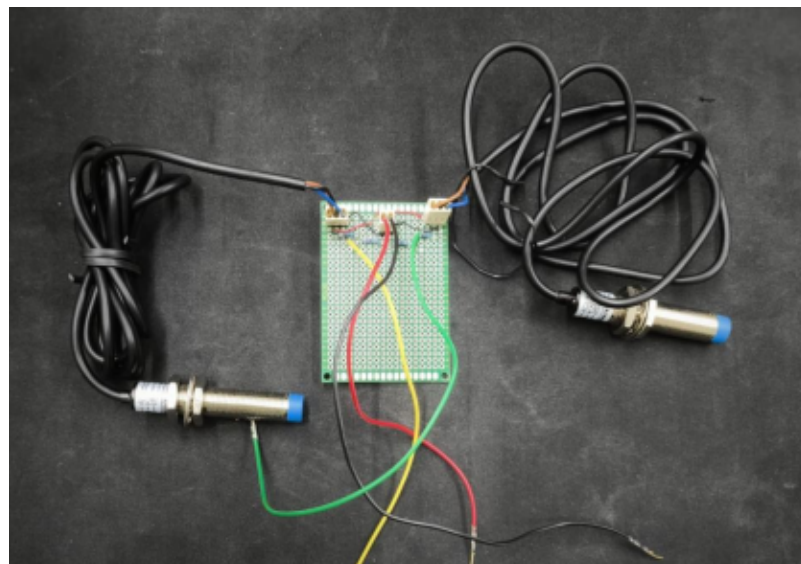
10	9540	2,68
20	2600	6,13
30	1660	9,61
40	1200	13,29
50	1070	14,90

Fonte: Elaborada pelo autor

Devido à distância reduzida entre os furos da engrenagem utilizada durante os ensaios, o sensor realizou leituras precisas em velocidade de até 50% da capacidade total de rotação do motor. Após esse limite, foi observada uma perda de detecção, que impossibilitou o cálculo adequado da velocidade. Embora, na aplicação prática, a distância entre as superfícies de leitura é maior, e fará com que o sensor opere de forma mais estável e eficiente mesmo sob rotações correspondentes a 100% da capacidade nominal do motor.

A finalização da construção do *hardware* do projeto deu-se pela finalização da placa ilhada para funcionamento simultâneo dos sensores indutivos. (Figura 38)

Figura 38: Esquema de funcionamento dos sensores indutivos em placa ilhada com a adição dos divisores de tensão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A montagem do hardware no trator atingiu os objetivos esperados, com um design focado na praticidade de manuseio e visualização, garantindo segurança e eficiência durante o uso da máquina.

O desenvolvimento da Placa de Circuito Impresso (PCI) e a organização do cabeamento foram cruciais para a estabilidade do sistema, otimizando a transmissão de dados e energia, o que resultou em menos falhas e melhor desempenho em campo.

Os testes revelaram que o GPS sofre interferências em áreas com vegetação ou construções, mas apresenta alta precisão e eficiência em campo aberto, validando sua aplicação no contexto agrícola proposto. O rastreamento de área e o cálculo de patinagem foram considerados satisfatórios e coerentes, apesar de pequenas divergências causadas por interferências externas e pela variação na qualidade do sinal de recepção.

O módulo GPRS foi eficaz no envio de informações para o banco de dados, sendo que o ajuste dos intervalos de tempo foi o fator chave para otimizar a eficiência e minimizar a perda de dados.

Os sensores de temperatura e umidade apresentaram estabilidade e resultados aceitáveis tanto em bancada quanto em campo. A nova estrutura ampliou a autonomia operacional, permitindo a coleta de um volume maior de dados e uma análise detalhada do comportamento dos sensores em diferentes cenários ambientais. Os sensores indutivos mediram velocidades compatíveis com operações reais.

Por fim, a análise feita com todos os módulos e sensores, tanto nos testes de bancada, quanto nos testes dinâmicos, se mostraram eficientes na aquisição, transmissão e posterior tratamento de dados. E isso possibilitou uma leitura mais precisa e detalhada das variáveis analisadas com os dispositivos de baixo custo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, M. U. P. **Sistema de rastreamento de veículos para empresas de transporte utilizando navegação por satélite**. 2010. 121 f. Monografia (Engenharia de Computação) – UniCEUB (Centro Universitário de Brasília). Brasília – DF. 2010. Disponível

em:<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/123456789/3383/3/20516524.pdf>.

Acesso em: 15.08.2025

ÁLVAREZ, E. Y.; VEGA, D. F.; MARTÍNEZ, P. S.; FERNÁNDEZ, M. C. Low cost system for measuring the evolution of mechanical properties in cement mortars as a function of mixing water. **Construction and Building Materials**, v. 244, n. 118127, 2020. Disponível

em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182030132X>.

Acesso em: 30.08.2025

ANTUNIASSI, U.R.; FIGUEIREDO, Z.N.; GADANHA JUNIOR, C.D. **Avaliação de sensores de velocidade em função do tipo de superfície e direção de deslocamento do trator**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.21, n.1, p.74-81, 2001.

BASTOS, A. **Instrumentação, Eletrônica Analógica e Digital**. Rio de Janeiro RJ, 2002, 360p.

BATISTA, M. A. E. **Sistemas Embarcados: do consumo contínuo à eficiência energética com técnicas de deep sleep**. 2024. 54 f. : il. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de , 2024. disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/cb2ce024-babf-4d6b-8483-95771e62e315/content#page=6.10>. Acesso em: 15 08.2025

BLACKSTOCK, M. J. et al. Monitoring atmospheric, soil, and dissolved CO₂ using a low-cost, Arduino monitoring platform (CO₂-LAMP): Theory, fabrication, and operation. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, p. 313, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2019.00313/full>

BRAGA, S. M.; BRAGA, A. S. FERNANDES, C. V. S.; DOS SANTOS, I. AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE PLUVIÔMETROS DE BÁSCULA: sub-medição durante eventos extremos e novos esquemas de medição. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, II. Anais [...] Rio de Janeiro, 2008.

BODIC, G. L. **Mobile Messaging Technologies and Services: SMS, EMS and MMS**. Chichester, England: [s.n.], 2005. Disponível em: https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_48/ourdev_698166GIQCOU.pdf

BOLTON, W. **Instrumentação e controle**, São Paulo: Hemus, 1988. cap.2, p.25-149.

CABRAL, S.,. **Um sistema de telemetria com tecnologias GSM/GPRS para a área ambiental**. 2023 66 p. : il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciência da Computação) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências,

Bauru. Disponível em:
<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/7e581978-3668-4148-8c1c-91222d601741/content#page=6.09>.

CAVALCANTE, A. M. TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E.; Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, p. 4503-4503, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000400018>. Acesso em 21.10.2025

DOMÍNGUEZ-BRITO, C. A, et al. A DIY low-cost wireless wind data acquisition system used to study an arid coastal foredune. **Sensors**, v. 20, n. 4, p. 1064, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20041064>.

FONSECA, T., DOMINGOS, D. **Tecnologia embarcada em máquinas agrícolas** / Danilo Domingos Fonseca Teófilo. – 2019.26 f. : il. color. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/50482/1/2019_tcc_ddfteofilo.pdf.pdf#page=6.10

HOPPE, I. L.; WOLLMANN, C. A.; BARATTO J.; Performance de um novo modelo de abrigo meteorológico de baixo custo. **Caminhos de Geografia** Uberlândia-MG v. 23, n. 86 abr./2022. DOI: Caminhos de Geografia Uberlândia-MG v. 23, n. 86 abr./2022. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/> Acesso em: 30.10.2025.

HORST, E. L.; CORDENONSI, A. Z. Desenvolvimento de uma estação agroclimatológica de baixo custo para apoio a cursos da área agrícola. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.45, e31, 2023. DOI 10.5902/2179460X71442. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X71442>. Acesso em: 02.11.2025

INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE (ISPA). Precision ag definition. Disponível em: <https://www.ispag.org/about/definition>

INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE (2023). Precision Ag Definition. Recuperado de: <https://www.ispag.org/about/definition>

MACHADO, O. V. R.; **Sistema de aquisição de dados utilizando microcontrolador Arduino para a tecnologia de aplicação de agroquímicos**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/272a8a81-b08d-450e-bdb1-009f39cedde9/content>. Acesso em: 06 08.2025

MARWEDEL, P.; **Embedded system design: embedded systems foundations of cyber-physical systems, and the internet of things**. 4 ed. Springer Nature, 2021. Disponível em <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-60910-8>

MELO, P. R. S., GUTIERREZ, R. M. V., ROSA, S. E. S. Placas de circuito impresso: mercado atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 7, p. 93-108, mar. 1998. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/13440/2/BS%2014%20Placas>

%20de%20Circuito%20Impresso_Mercado%20Atual%20e%20Perspectivas_P_BD.pdf#page=26.00. Acesso em: 21.10.2025

MÉNDEZ-BARROSO, L.A., RIVAS-MÁRQUEZ, J.A., SOSA-TINOCO, I. et al. **Design and implementation of a low-cost multiparameter probe to evaluate the temporal variations of water quality conditions on an estuarine lagoon system.** Environ Monit Assess 192, 710 (2020). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08677-5>

MOLEX. Standard .100" Pitch KK **Connectors Specification**. 2023. Disponível em: <https://www.molex.com/content/dam/molex/molex-dot-com/products/automated/en-us/productspecificationpdf/100/1007/PS-10-07-001.pdf?inline>. Acesso em: 4 mar. 2026.

LEDESMA, N. E. C. **Desenvolvimento de um sistema de SHM sem fio e com compensação automática de temperatura**, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/132167>

LUCIO, S. G. J.; **Automação de um dispensador de remédios sólidos**, 2020. Artigo Científico (Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) - Faculdade de Tecnologia de Botucatu, 2020. Acesso em: 06 10.2025

OIOLE, Y. A.; KMIECIK, L. L.; SILVA, T. X. Determinação da patinação dos rodados do trator de 92,67 kw através da instrumentação eletrônica instalada e equações da literatura. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA 2018**, Centro Internacional de Convenções do Brasil - Brasília - DF. Acesso em: 18 09. 2025.

PERAZZI, P.; PERAZZI, R.; PASSAMANI, M. P.; THIELEN, D.; PADOVANI, C. O Tradicional ou o Moderno? Uma Visão da Informação da Rede de Estações Meteorológicas Brasileiras. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 36, n. 3, jul/set. 2021. Acesso em: 02.11.2025

PEROSA, C. G.; **A Eletrônica na Agricultura**. 2000. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Marília, Marília, SP, 2000.

RODERS, F. A.; **Sistema de Rastreamento via GPS para Frotas** / Arthur Felipe Roders; orientador, Carlos Roberto Moratelli, 2024. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Blumenau, 2024.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de Instrumentação eletrônica para avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. Santa Maria UFSM, 2009. 142p. Dissertação de mestrado.

SAMPAIO, L. W.; **Avaliando a eficiência energética de uma conexão com a Internet através do GPRS em um Cenário IoT : Um estudo de caso com o SIM800L e o Middleware Dojot**. 2018. 60 f. : il. color. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Redes de Computadores, Quixadá, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/34537/1/2018_tcc_wlasampaio.pdf#page=6.10. Acesso em:10.08.2025

SOBREIRA, S. K.; **O uso e aplicação de sensores baseados em Arduino para análises ambientais multiparamétricas: uma revisão bibliométrica.** 2025. 84 f. Monografia (Graduação em Ciências Ambientais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

SUGAWARA, T. M.; **Estudo de sensores de baixo custo para estação meteorológica automática.** 2003. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, 2003.

VALIN JR. M. O., SANTOS, F. M. M., RIBEIRO, K. F. A., ANTUNES, K. F. Análise da relação entre abrigos meteorológicos alternativos para pontos fixos e o comportamento de variáveis termo-higrométricas, **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 18. p.157-179, 2016a. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.45146>.

WENDLING, M.; Sensores. **Universidade Estadual Paulista. São Paulo**, v. 2010, p. 20, 2010.