



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS - DETEC
CURSO INTERDISCIPLINAR EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

FRANCISCA SAMIRA AQUINO FRANÇA

**PROPOSTA DE HARDWARE PARA ROVER DE BAIXO CUSTO NA
CAATINGA**

PAU DOS FERROS – RN
2025

FRANCISCA SAMIRA AQUINO FRANÇA

**PROPOSTA DE HARDWARE PARA ROVER DE BAIXO CUSTO NA
CAATINGA**

Monografia apresentado ao Curso de
Bacharelado Interdisciplinar em
Tecnologia da Informação da
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido – UFERSA.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel
da Silva Segundo, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS – RN
2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F814p França, Francisca Samira Aquino.
Proposta de hardware para rover de baixo custo
na caatinga / Francisca Samira Aquino França. -
2025.
48 f. : il.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
Segundo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Tecnologia da
Informação, 2025.

1. ESP32. 2. Sensores. 3. Agricultura de
precisão. 4. Caatinga. 5. Automação agrícola. I.
Silva Segundo, Francisco Carlos Gurgel da,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCA SAMIRA AQUINO FRANÇA

**PROPOSTA DE HARDWARE PARA ROVER DE BAIXO CUSTO NA
CAATINGA**

Monografia, apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, como requisito para a obtenção do título de Bacharela Interdisciplinar em Tecnologia da Informação.

APROVADO EM: 15/12/2025

BANCA EXAMINADORA:

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Adller de Oliveira Guimaraes, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro

Bruno Borges da Silva, Prof. Esp. (UFERSA)
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe, Ivaneide, cujo aplauso sempre ecoou tão forte e de maneira generosa que preencheu todos os espaços, fazendo com que eu jamais percebesse a ausência de quem não esteve ao meu lado, Mamãe, sua presença foi e sempre será suficiente para me impulsionar a ir além.

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo a Deus com o versículo que me acompanhou nos momentos mais difíceis e cansativos durante todos esses anos: “Não foi Eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar” – Josué 1:9. Guiada pelo meu querido Deus e por todas as promessas feitas por Ele, consigo agradecer por tudo que fez em minha vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo pelo apoio durante este período exaustivo, mas que com os seus conhecimentos me fizeram vencer o temido Trabalho de Conclusão de Curso. E ao professor Me. Marco Diego Aurélio Mesquita, pelos ensinamentos que me fizeram ser uma profissional melhor. Agradeço aos meninos Gerliano, Pablo e Ricardo pelos conhecimentos prestados durante esse processo.

Sou imensamente grata a minha família pelo apoio genuíno, pela compreensão e pelo amor incondicional. Cito com muito amor e carinho algumas das pessoas que se fizeram fundamentais na minha trajetória: minha avó Maria, cuja sua sabedoria e ternura sempre iluminaram meus dias; meu pequeno e grande amor: Gael, que com sua alegria consegue renovar todas as minhas forças; minhas tias Luzineide e Socorrinha, pela presença constante e apoio; meu avô França, por ser exemplo de pai em minha vida; meus irmãos Ryan, Alessandra e Lorena, por compartilharem comigo diretamente dos meus sonhos, aprendizagem e afeto; e aos meus amigos, cada um de vocês contribuíram de forma única e verdadeira para tudo que me tornei.

De maneira ainda mais especial, agradeço à minha amada mãe, Ivaneide, que sempre se desdobrou e nunca mediu esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos e objetivos. Tudo o que sou e conquistei até hoje é, e sempre será, em razão de todo o seu amor e dedicação. Por você e para você.

Estendo meus agradecimentos à minha amiga Lorryne, com quem iniciei essa caminhada. Acredito que Deus uniu nossos caminhos, e desde então a sua amizade tem sido um verdadeiro presente, repleto de afeto e apoio. Toda extrovertida tem sua introvertida, e eu tive a sorte de encontrar a minha em você.

Por fim, agradeço ao meu namorado Francisco, cuja sua companhia, amor e apoio me salvaram em dias em que nem eu mesma conseguia me salvar. Sua presença

foi fundamental nesta caminhada, espero que possamos nos inspirar um no outro para conquistamos muitas vitórias juntos.

*“A tecnologia move o mundo e define o futuro”
(Steve Jobs)*

RESUMO

O avanço da tecnologia no meio rural tem ampliado as possibilidades de acompanhamento das condições ambientais, especialmente em regiões caracterizadas por clima seco e altas temperaturas, como a Caatinga. No entanto, o acesso a soluções tecnológicas adequadas ainda é limitado para pequenos produtores, principalmente devido ao alto custo de equipamentos disponíveis no mercado. Diante dessa realidade, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um rover de baixo custo, utilizando a placa microcontroladora ESP32 e sensores ambientais, com a finalidade de realizar a coleta de dados em tempo real. O sistema desenvolvido possibilita o monitoramento de variáveis como temperatura e umidade do ar, fornecendo subsídios para apoiar o processo de manejo agrícola. A proposta foi direcionada à agricultura familiar, priorizando o uso de componentes acessíveis e sustentáveis, de modo a contribuir para a modernização do campo, promover a inclusão tecnológica e minimizar perdas durante o cultivo.

Palavras-chave: ESP32; sensores; agricultura de precisão; caatinga. automação agrícola.

ABSTRACT

The advancement of technology in rural environments has expanded the possibilities for monitoring environmental conditions, especially in regions characterized by dry climates and high temperatures, such as the Caatinga biome. However, access to suitable technological solutions remains limited for small-scale farmers, mainly due to the high cost of equipment available on the market. In this context, this study presents the development of a low-cost rover based on the ESP32 microcontroller and environmental sensors, aiming to perform real-time data collection. The developed system enables the monitoring of variables such as air temperature and humidity, providing support for agricultural management processes. The proposal is focused on family farming, prioritizing the use of accessible and sustainable components, in order to contribute to rural modernization, promote technological inclusion, and reduce crop losses.

Keywords: ESP32; sensors; precision agriculture; caatinga; agricultural automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Placa Microcontroladora ESP32	19
Figura 2 - Sensor de Temperatura e Umidade – DHT11	22
Figura 3 – Driver Motor Ponte H L298N	23
Figura 4 - Mini Painel Solar 5V 200mA	24
Figura 5 - Regulador de Tensão LM2596S	25
Figura 6 – Módulo Carregador Solar – CN3065	26
Figura 7 – Diagrama do Circuito – CN3065	27
Figura 8 – Circuito CN3065 Conectado	28
Figura 9 - Circuito para Movimentar as Rodas	33
Figura 10 – Chassi conectado ao Módulo L298N	34
Figura 11 – Sistema Completo do Rover com Integração dos Subsistemas de Energia, Controle e Sensoriamento.....	35
Figura 12 - Soldagem de Componentes.....	36
Figura 13 – Componentes no Chassi na Parte Superior	37
Figura 14 - Diagrama de Conexões	38
Figura 15 - Fios de Ligação do L298N para ESP32	39
Figura 16 – Temperatura e Umidade do Ar – Coleta de 09/12 08:30 até 10/12 08:30	41
Figura 17 - Temperatura - 09/12 (a partir das 08:30)	42
Figura 18 – Temperatura com Média Móvel 09/12 a 10/12	43
Figura 19 - Rover Operando em Simulação de Ambiente da Caatinga.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhamento Técnico da ESP32	20
Tabela 2 – Especificação do Mini Pannel Solar	24
Tabela 3 - Descrição do Regulador de Tensão LM2596S	26
Tabela 4 - Descrição de Pinos	27
Tabela 5 - Investimento para Desenvolvimento do Rover	40

SIGLAS

GPIO – General Purpose Input/Output;

PWM – Pulse Width Modulation;

IoT – Internet of Things;

BAT – Battery Pin;

IDE – Integrated Development Environment;

DONE – Charge Complete Indicator;

CHRG – Charging Indicator;

FB – Feedback Pin;

USB – Universal Serial Bus;

LED – Light Emitting Diode;

V – Volts.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos.....	17
1.2	Objetivo geral.....	17
1.3	Objetivos específicos.....	17
1.4	Justificativa	17
1.5	Estruturação do trabalho.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Placa microcontroladora ESP32	19
2.2	Sensores	21
2.3	Módulo L298N	22
2.4	Mini painel solar	23
2.5	Regulador de tensão LM2596.....	25
2.6	Módulo carregador solar para bateria lipo - CN3065	26
2.7	Trabalhos relacionados	28
3	PROPOSTA DE HARDWARE PARA ROVER DE BAIXO CUSTO NA CAATINGA	30
3.1	Metodologia.....	30
3.2	Etapas de desenvolvimento	31
3.3	Ambiente de testes	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1	Protótipo montado.....	36
4.2	Análise de custo e acessibilidade	39
4.3	Coleta de dados	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A robótica móvel tem-se destacado de forma crescente em função dos avanços nas áreas de engenharia, sistemas embarcados e inteligência artificial, Boschetti *et al.*, (2024); Grigorescu; Zaha, (2024). Entre muitas tecnologias, os *rovers* em particular se consolidaram como plataformas versáteis para realizar atividade de exploração, inspeção e coleta de dados em ambientes de difícil acesso. Apesar de muitos módulos autônomos serem bastante enfatizados, a utilização de robôs controlados remotamente tem-se um papel essencial em diversos cenários, principalmente onde a intervenção humana direta oferece maior segurança, precisão e controle operacional, Senft *et al.*, (2021).

Além disso, essas ferramentas têm sido desenvolvidas com o objetivo de atuar em ambientes hostis, ou seja, em locais de difícil acesso para seres humanos, como em regiões com altas temperaturas, baixa visibilidade ou solo instável. *Rovers* espaciais, como o Perseverance da NASA, foram desenvolvidos com o objetivo de explorar a superfície de Marte. Em outros contextos, equipamento semelhantes vem sendo empregados em áreas que tem mineração e inspeção industrial, como foi discutido em *Safety Enhancement in Planetary Rovers*, Álvarez *et al.*, (2024) e no projeto *Agri-Inspect Rover*, IJERT (2023). Em consonância com a demanda, o relatório do instituto Market.us (2024), aponta que o mercado global de robôs para terrenos inóspitos deve crescer cerca de 13,67% de 2023 até 2033, ilustrando o avanço da demanda crescente por tecnologias.

Em pesquisas atuais, a utilização de ferramentas de baixo custo baseados em microcontroladores, como a própria ESP32, vem sendo cada vez mais utilizada em pesquisas, principalmente relacionados à monitoramento e vigilância, isso mostra como a integração de sensores influencia na precisão e coleta contínua de dados, além de transmissão de informações no formato de vídeo, Kumar *et al.*, (2024). Isto, só comprova o avanço dessas ferramentas e aumenta a visibilidade, além de adaptações para diversas áreas da agricultura, principalmente no clima do semiárido da Caatinga.

A utilização de plataformas robóticas controláveis é de extrema importância e vem sendo mais utilizada por eventos que era quase impossível o acesso para seres humanos, pode-se citar o desastre nuclear em Fukushima em 2011, a *Tokyo Electric Power Co (Tepco)*, onde eles usaram robôs como o *PackBot* para inspecionar as áreas que eram de difícil acesso para seres humanos devido aos elevados níveis de radiação nos reatores das unidades 1, 2 e 3 da usina nuclear de *Fukushima Daiichi*. Além do mais, esses robôs foram fundamentais para

capturar imagens de dentro dos prédios dos reatores, para realizarem a medição da radiação, temperatura, umidade e níveis de oxigênio nos prédios, permitindo que as equipes tomassem decisões à distância, diminuindo risco de radiação desnecessária *Tepco (2011)*. Além do *PackBot*, o robô *Quince*, desenvolvido pela *Chiba Institute of Technology*, foi enviado para *Fukushima* somente em fevereiro de 2012, pois houve várias fases de testes, como por exemplo: se o robô aguentaria os altos níveis de radiação, se realizaria a coleta de amostras corretas e a captura de dados, ao todo foram feitas 3 versões do *Quince* até que fosse enviado para ajudar na usina de *Fukushima Daiichi*, Nippon.com (2011).

Segundo o Planeta Campo, Planeta Campo (2025), com dados do IBGE e da Central Única dos Trabalhadores, CUT (2025), a agricultura familiar é responsável por cerca de 70% a 80% dos alimentos produzidos que chegam à mesa dos brasileiros. Isso mostra o papel fundamental da agricultura familiar no Brasil e como ter um bom desempenho é crucial para a segurança desses alimentos. Conforme o Conselho Federal de Nutrição (CFN) em 2015, os alimentos mais consumidos são o feijão com 70%, arroz com 34%, milho com 46%, leite com 60% e mandioca com 87%, entre outros, CFN (2015).

Diante disso, o projeto foi concebido com o objetivo de auxiliar pequenos agricultores por meio do uso de um *rover* controlável equipado com uma placa microcontroladora ESP32 e sensores, capaz de analisar o ambiente e realizar a coleta de dados relevantes. Entre informações obtidas estão a medição da umidade do ar, além da temperatura da região, a fim de determinar se o local é adequado para o plantio ou não. Nesse caso, pode-se dizer que essa abordagem se alinha com a agricultura de precisão, já discutido e destacado em publicações da revista *ExploroBot: A Versatile Robotic Explorer*, Journal of Advancements in Robotics (2024), onde eles reforçam a importância de sistemas adaptáveis na otimização de recursos e crescimento na produtividade nesse campo.

A agricultura de precisão surgiu para solucionar problemas que os agricultores sofreram por muitos anos, especialmente para realizar a interpretação de dados extensos, principalmente pelo alto preço de cada equipamento. Com a utilização dessas novas tecnologias que foram adaptadas para cada região, percebeu-se que os problemas haviam sido solucionados, Nunes (2014). Levando em consideração que, a agricultura de precisão é um sistema de administração de informações baseado em tecnologias avançadas de referenciamento, posicionamento e sensoriamento remoto, Nunes (2014). De acordo com o Programa de Agricultura de Precisão do Senar, o Brasil é atualmente um dos países mais gigantes no cenário mundial agrícola, mostrando que a cada ano a agricultura brasileira vem batendo recordes na sua produção, com

uma representatividade imensa, principalmente, na balança comercial e de exportação de produtos agrícolas, CNA (2018).

1.1 Objetivos

1.2 Objetivo geral

O presente projeto tem como objetivo desenvolver e validar um sistema de hardware embarcado, baseado em sensores ambientais, para aplicação em *rovers* destinados ao monitoramento da Caatinga.

1.3 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos deste trabalho destacam-se:

- Projetar *rovers* controláveis integrando diferentes subsistemas de hardware e software.
- Desenvolver um protótipo funcional de *rover* utilizando a placa microcontroladora ESP32 e os demais componentes eletrônicos adequados às necessidades do sistema.
- Validar o desempenho do *rover* em ambiente de Caatinga, por meio de aplicações reais ou simulações controladas.
- Assegurar que o sistema atenda às necessidades de coleta de dados ambientais de forma eficiente e confiável.

1.4 Justificativa

A criação do *rover* surgiu pela necessidade de auxiliar pequenos agricultores, que sofrem com problemas climáticos, especialmente em regiões do semiárido brasileiro, como a Caatinga. Essa alternativa é acessível especialmente para esse público mais humilde, ou seja, mais agricultores poderão utilizar esses módulos para o monitoramento, coleta e análise de dados do ambiente. Sabe-se que, a utilização de ferramentas tecnológicas no auxílio de tarefas mais complexas é de extrema importância, principalmente, pela precisão nos seus dados Almeida Júnior (2023).

No mais, o desenvolvimento deste projeto atrás benefícios na contribuição para amparar os agricultores, limitando os impactos que uma colheita má sucedida poderia trazer para o consumidor que pode receber alimentos em más condições ou para o próprio agricultor que sai prejudicado pelo tempo perdido plantando, adubando e cuidando da plantação e, principalmente, pelo dinheiro perdido, levando-o ao prejuízo pela mercadoria perdida. Dessa forma, a motivação do projeto consiste na importância de desenvolver um robô capaz de capturar informações referentes ao ambiente, de maneira que, seja um equipamento acessível e funcional para que esses agricultores possam ter acesso a dados importantes, além da sua confiabilidade, que contribui para que esses trabalhadores não percam suas colheitas.

A expectativa é que, ao final do desenvolvimento desta pesquisa, sejam alcançadas contribuições relevantes na área da agricultura de precisão aplicada à Caatinga, sendo possível oferecer uma alternativa de baixo custo, com maior acessibilidade em tecnologia para a agricultura familiar.

1.5 Estruturação do trabalho

Na sequência do trabalho, no Capítulo 2, tem-se o referencial teórico abordando sobre a placa microcontroladora ESP32, sensor, módulo L298N, mini painel solar, módulo de carregador solar, trabalhos relacionados e teorias necessárias para o desenvolvimento do projeto. No Capítulo 3, tem-se a descrição do *rover* “Proposta de Hardware para Rover na Caatinga” e a metodologia utilizada para o seu desenvolvimento. No Capítulo 4, encontra-se os resultados e discussões do projeto desenvolvido. No capítulo 5, encontram-se as considerações finais do trabalho e, no Capítulo 6, as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

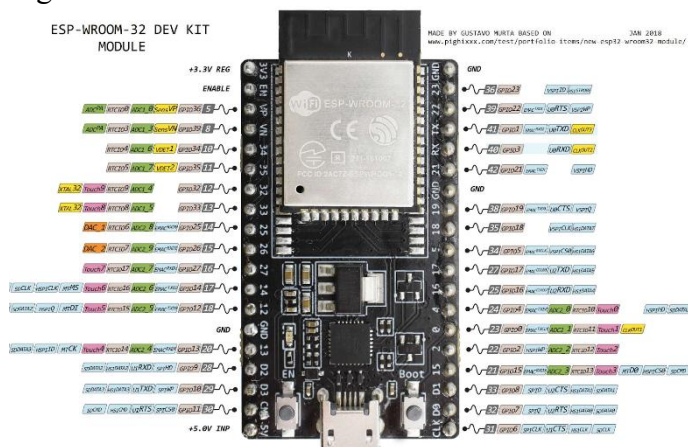
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os pontos mais importantes que colaboraram para a continuidade do trabalho de maneira acessível e prática. A princípio, a Seção 2.1 abordará uma placa microcontroladora ESP32 de baixo custo. Na Seção 2.2 é apresentando a aplicação de sensores e de como são essenciais para o projeto. Em sequência na Seção 2.3 uma breve explicação do módulo L298N e sua aplicabilidade no sistema. Na Seção 2.4 será abordado um mini painel solar e na Seção 2.5 um módulo carregador solar, bem como suas aplicações no sistema. Em sequência na Seção 2.6, uma breve descrição do regulador de tensão LM2596. Por fim, finalizando na Seção 2.7, apresentando os trabalhos relacionados que são essenciais para o sistema.

2.1 Placa microcontroladora ESP32

Conforme a Figura 1, o ESP32 é um dispositivo versátil e de baixo custo, desenvolvido pela *Espressif Systems* em 2016 para ser uma nova versão atualizada da ESP8266, que disponibiliza Wi-Fi e *Bluetooth*, além de maior poder de recursos em processamento. Logo, quando foi lançada ficou popularmente conhecida, até mais do que a ESP8266, por ser um dispositivo superior ao antigo, ele possui cerca de 36 *GPIO* em comparação ao ESP8266 que tem 17 *GPIO*. Além de, disponibilizar canais de *PWM* e uma capacidade grande em seu conversor analógico digital, *Espressif Systems* (2025).

Figura 1 - Placa Microcontroladora ESP32



Fonte: Blog Eletrogate (2018)

A Tabela 1, consiste em especificações da placa microcontroladora ESP32.

Tabela 1 - Detalhamento Técnico da ESP32

Especificações	
Tensão de operação	3,3 V
Corrente típica	80 a 240 mA
Potência estimada	0,26 a 0,79 W
Corrente em modo deep sleep	10 μ A

Fonte: Espressif Systems (2019)

O ESP32 tem operação de tensão nominal de 3,3V, apresentando baixo consumo energético, especialmente quando configurado para modos de economia de energia, como o próprio *deep sleep*. Conforme apresentado na Tabela 1, a corrente típica em modo ativo pode variar de acordo com o uso de periféricos e comunicação sem fio, enquanto em modo de repouso o consumo é significativamente reduzido.

Diante disso, essas características tornam o ESP32 adequado para sistemas alimentados por bateria e painel solar, como o proposto neste projeto, pois permitem a otimização do consumo energético e maior autonomia do sistema. Dessa forma, o dimensionamento do regulador de tensão e da fonte de alimentação foi realizado considerando a faixa de corrente apresentada, garantindo estabilidade elétrica e operação segura do microcontrolador.

Em trabalhos como o de Patil *et al.*, (2022) eles desenvolveram um *rover* autônomo com o ESP32 para auxiliar em diversas tarefas agrícolas, como por exemplo: cavar o solo, semear sementes, cortar e ter um sistema de irrigação. Eles também utilizam da energia solar para conservar os recursos energéticos não renováveis, contribuindo positivamente para a sustentabilidade do nosso planeta.

Outros trabalhos como o de Zuchriadi *et al.*, (2023) foi projetado um sistema capaz de monitorar dados agrícolas baseados em *IoT* (Internet das Coisas), onde eles implementam o ESP32 em conjunto transmissão LoRa (Longa Distância), que semelhante ao projeto, utilizam painéis solares como fonte de energia para alimentar os componentes e depois exibe em um servidor web.

Em estudos recentes como de Boralkar *et al.*, (2024) eles fazem o uso do ESP32, onde foi destacado a utilização da placa no monitoramento agrícola de baixo custo, principalmente em países com um desenvolvimento bom, o ESP32 é conhecida pela sua versatilidade, além do seu baixo consumo de energia, visto que, é uma particularidade importante, especialmente se considerar a sua aplicação no sertão do semiárido, ou seja, na

Caatinga, onde no geral a infraestrutura em relação a comunicação e energia é conhecida pela sua limitação.

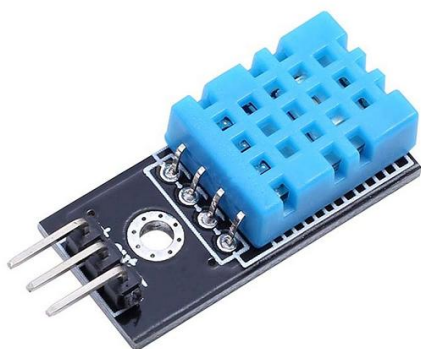
A escolha da ESP32 foi realizada por ser uma alternativa adequada para a estruturação do sistema e pela sua boa atuação no campo da tecnologia, dado ao fato de que tem uma grande disponibilidade e capacidade de processamento, com uma arquitetura *dual-core*, Wi-Fi e *Bluetooth* integrado nele, Mello (2023). Considerando que o microcontrolador consome um nível baixo de energia se torna um dos principais motivos de utilizá-la, sua compatibilidade com todos os componentes que serão utilizados e sua facilidade de implementação em plataformas de programação. Isso evidencia que a placa é uma alternativa satisfatória, pois ela deverá conseguir atender todas as necessidades do projeto.

2.2 Sensores

Os sensores fazem parte da realidade da população a muito tempo, pela sua utilidade em diversos tipos de projeto. De acordo com Costa *et al.*, (2015), é visto que a empresa americana Dickey-John criou um conjunto de sensores eletrônicos para atuar na agricultura, para ajudar a ter um melhor rendimento no cultivo. Ainda é ressaltado que a primeira utilização de sensores foi na década de 1966 e que está até hoje auxiliando em pequenos e grandes projetos.

No trabalho, é utilizado alguns sensores e a importância de usá-los, além de como realizar a integração de componentes adequados ao sistema, de maneira que, sejam realmente eficientes. Observando por este lado, os sensores realizam a captura da temperatura e umidade com o sensor DHT11, Figura 2, por ser uma ferramenta versátil, e principalmente pela sua praticidade em operar em uma ampla faixa de temperatura, que está entre 0 a 50 °C, já em relação a sua umidade, é variada entre 20 e 90%, AOSONG (2018).

Figura 2 - Sensor de Temperatura e Umidade – DHT11



bulemon

Fonte: Auto Core Robótica (2025)

Todos os sensores são de suma importância, visto que, cada sensor possui um papel na desenvoltura do trabalho. É necessário que cada sensor funcione corretamente para que os dados coletados sejam válidos e não apresente erros, ou seja, a escolha desses sensores será feita pensando em suprir as necessidades do robô.

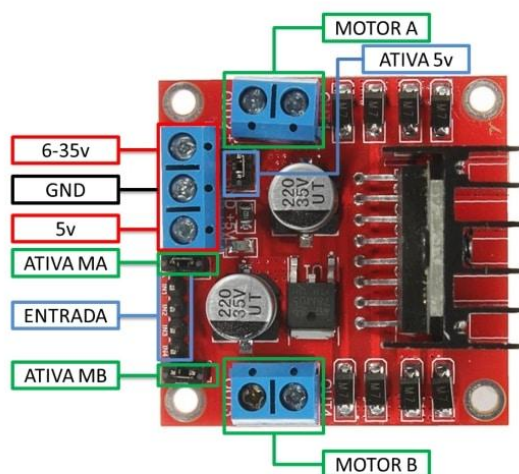
No geral, além do sensor DHT11, outros trabalhos são apontados a relevância de diversos sensores de baixo custo, como em *Soil Water Status Monitoring with Low-Cost Sensors* (2024); *Applying ESP32 and LoRa RA-02 Module* (2023), onde é visto sobre aplicação e utilização de sensores de baixo custo na agricultura, como esses sensores de umidade do solo, de condutividade elétrica (EC), além dos sensores de luminosidade, onde permitem a avaliação hídrica, fertilidade e radiação que o solo recebe.

Por fim, a integração de bons sensores aplicados em *rovers* é voltada na aplicação na Caatinga, com o intuito de fornecer para os agricultores dados reais e valiosos, especialmente para o manejo na agricultura, bem como em ambientes do clima semiárido.

2.3 Módulo L298N

O módulo L298N é um controlador de motor de passo duplo. Com ele é possível controlar a velocidade e direção de um motor de passo ou até dois motores DC simples. Isso acontece porque é utilizado um chip L298N, que faz justamente esse controle do motor, geralmente são motores de alta corrente, que são capazes de fornecer até 2A por canal, STMICROELECTRONICS (2025).

Figura 3 – Driver Motor Ponte H L298N



Fonte: Makerhero (2025)

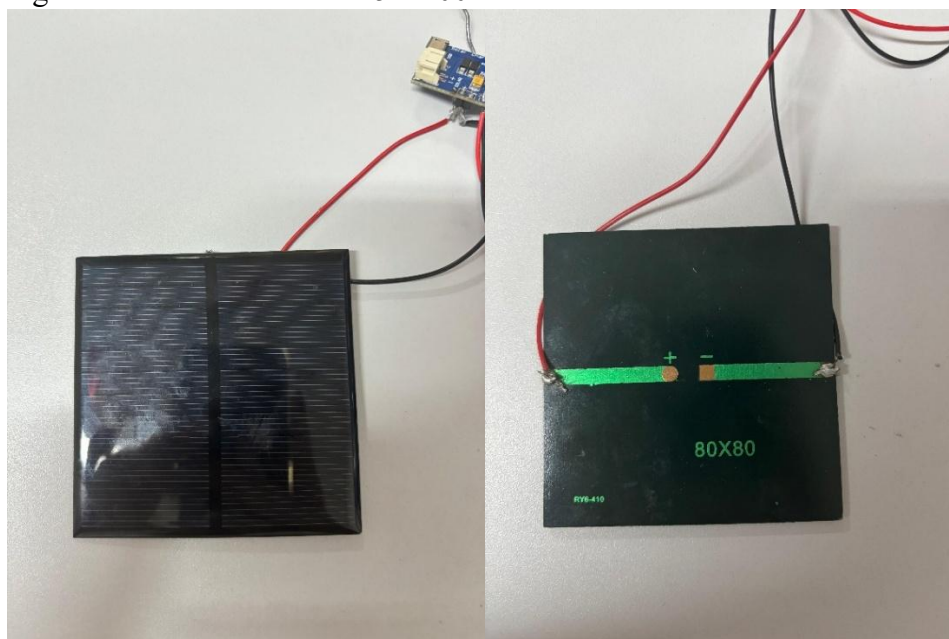
A sugestão de utilizar essa ponte H para realizar a locomoção surgiu pela sua praticidade em conjunto do ESP32. Em estudos recentes, foi indicado que essa combinação é muito eficaz, principalmente em áreas como da robótica de campo, HSIEH *et al.*, (2025), e em outro contexto para realizar a automação agrícola, SONAWAME *et al.*, (2025). Demais exemplos próximos ao nosso projeto mostram a utilização de plataformas moveis que são capazes de enfrentar terrenos irregulares e assim monitorar o ambiente, AULA *et al.*, (2024), isso justifica sua aplicação no bioma da Caatinga, realizando a coleta e captura do solo.

2.4 Mini painel solar

O mini painel solar é capaz de gerar energia elétrica suficiente para todos os componentes, a partir da incidência de energia que ele recebe. Ele se tornou uma opção viável e barato para utilizar no trabalho, pois pode realizar várias funções, tais como: ligar LEDs, alimentar circuitos de baixo consumo e carregar baterias lítio, KITRONIK (2025).

Na Figura 4 tem-se uma figura ilustrativa do painel que é utilizado para atuar no sistema embarcado do *rover*.

Figura 4 - Mini Painel Solar 5V 200mA



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A seleção do painel fotovoltaico fundamentou-se nas especificações técnicas de consumo, notou-se que seria necessário utilizar um painel que carregasse os componentes por longos períodos, principalmente em climas frios em que o sol não estivesse, então foram procuradas alternativas para não queimar os componentes ou que ele entrasse em descarga profunda, o que se chegasse a acontecer seria um problema mais na frente. Esse tipo de painel é uma opção prática e viável, principalmente em projetos pequenos como o nosso.

A Tabela 2, consiste em especificações do painel, uma breve descrição do painel, cada detalhe é importante para saber se o painel é compatível com os componentes e se ele aguentar receber raios solares por longos dias/horas.

Tabela 2 – Especificação do Mini Painel Solar

Especificações	
Tensão	5V
Corrente de Saída	200mA
Dimensões	80 x 80mm
Peso	85g

Fonte: Autoria própria (2025)

No trabalho de Karyadi, K *et al.*, (2025), eles realizaram um monitoramento utilizando painéis solares para rastrear a eficiência de processos de conversões de energia solar. Com

intuito de construir um sistema de monitoramento utilizando internet das coisas (*IoT*), justamente para descobrir o impacto do armazenamento de dados em um microcontrolador fazendo a utilização de um mini painel solar. Isso comprova como mini painéis solares se fazem fundamentais para a realização de diferentes sistemas.

2.5 Regulador de tensão LM2596

O LM2596S é um regulador de tensão *step-down*, conhecido como circuito integrados monolíticos que fornece funções ativas, além de ser utilizado para converter tensões DC, quando geralmente estão muito altas para uma tensão mais baixa, de maneira que seja mais eficiente, TEXAS INSTRUMENTS (2013).

A proposta de utilizar esse componente foi realizada apartir da necessidade de baixar a voltagem de alguns componentes, como a própria ESP32. Este componente mostrou – se ser eficaz em sua utilização no trabalho. A Figura 5, apresenta os pinos e suas respectivas entradas/saídas. O *INPUT* são para entrada de tensão e o *OUTPUT* para saída de tensão.

Figura 5 - Regulador de Tensão LM2596S



Fonte: Makerhero (2025)

A Tabela 3, aborda uma breve descrição das especificações do LM2596S.

Tabela 3 - Descrição do Regulador de Tensão LM2596S

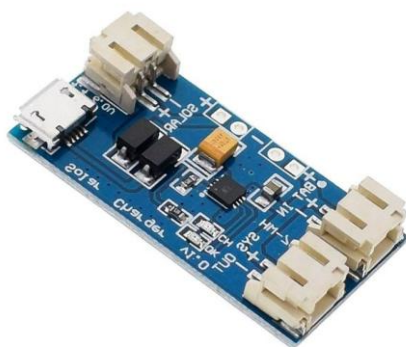
Especificações	
Tensão de entrada	Até 40V
Tensão de saída fixa	5,0V ($\pm 4\%$ de precisão)
Corrente de saída	Até 3 A contínuos
Frequência de chaveamento	150 kHz
Alta eficiência	($\sim 80\%$ em 12 V para 5 V/ 3 A

Fonte: Texas Instruments (2013)

2.6 Módulo carregador solar para bateria lipo - CN3065

O CN3065 é um carregador linear que foi desenvolvido com intuito de carregar baterias de lítio em sistemas alimentados por energia solar. Conforme o *datasheet*, ele possui uma corrente constante/tensão (CC/CV), além de possuir um *mosfet* interno capaz de eliminar a necessidade de diodo de bloqueio e resistores externos de sensoramento, Consonance, (2018). Isto é, demonstrando como o dispositivo é eficiente e simplificado, indicado para projetos como o que está sendo desenvolvido, além de ser um componente importante na duração da bateria, visto que, o CN3065 recebe energia do painel solar e em sequência carrega a bateria.

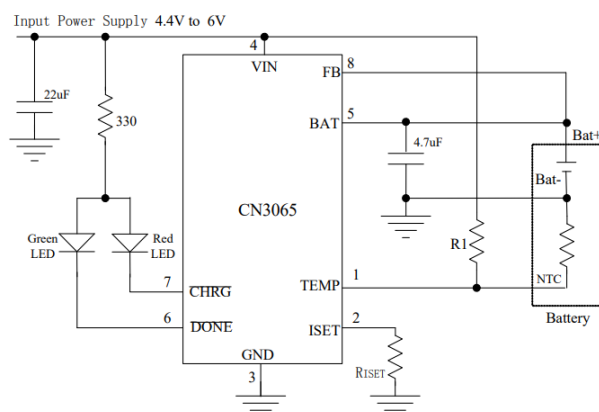
Figura 6 – Módulo Carregador Solar – CN3065



Fonte: Eletrogate (2023)

Na Figura 7, pode-se observar aplicação do circuito, bem como o seu diagrama, com informações da parte interna do módulo.

Figura 7 – Diagrama do Circuito – CN3065

Typical Application Circuit

Fonte: Consonance (2018)

Na Tabela 4, tem-se detalhes/descrição de cada pino do circuito que faz papel fundamental na duração do sistema.

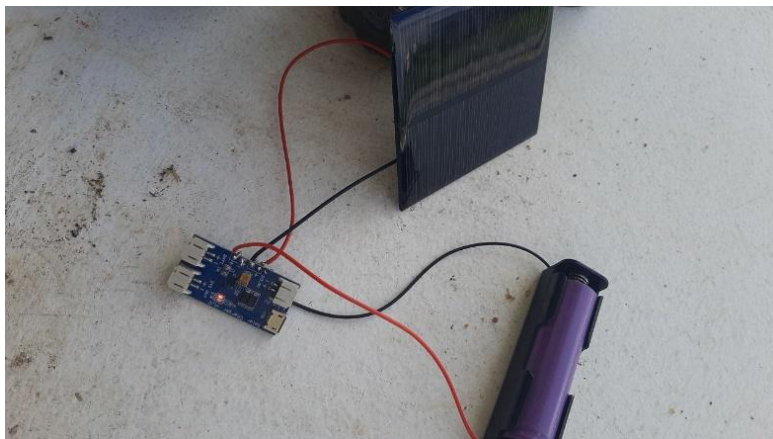
Tabela 4 - Descrição de Pinos

Pino	Nome	Função/Descrição
1	TEMP	Detecta temperatura da bateria
2	ISET	Defini a corrente de carga por meio com resistor
3	GND	Referência elétrica ao circuito
4	VIN	Receptor de energia
5	BAT	Conectado ao positivo da bateria
6	DONE	Saida <i>open-drain</i> , indicando que a bateria está sendo carregada
7	CHRG	Saida <i>open-drain</i> , indicando que a bateria está sendo carregada
8	FB	Leitura da tensão da bateria

Fonte: Consonance (2018)

A Figura 8, consiste no circuito soldado ao mini painel solar e carregando a bateria de lítio, após realizar a ligação dos componentes, o circuito rapidamente acendeu o *LED*, como mostra a Figura.

Figura 8 – Circuito CN3065 Conectado



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Foram obtidos resultados positivos em todas as conexões dos componentes utilizados para o desenvolvimento do *rover*. Esses resultados reforçam a importância de selecionar componentes eletrônicos adequados e de fácil integração, capazes de atender às necessidades de um sistema composto por diferentes módulos e funcionalidades.

2.7 Trabalhos relacionados

Como base teórica foi utilizado o trabalho do autor: Almeida Júnior (2023), que contribui para uma estação meteorológica de baixo custo voltado para aplicação agrícola. A proposta deste trabalho baseou-se na replicação de um pequeno *rover* que fosse capaz de capturar informações do solo na Caatinga.

Em diversos outros trabalhos como o de Soares *et al.*, (2023), foi proposto um hardware de baixo custo para agricultura, onde foi incluído ao AgriSense, que visa integrar sensores de solo e ambiente em um tipo de sistema embarcado *open-source*. Foi elaborada uma alternativa de replicar/ajustar, justamente para que o robô consiga operar no sertão do semiárido. Em Archila *et al.*, (2024), foi realizado estudos de plataformas moveis para aplicar na agricultura de precisão, com o intuito de simular *rovers* de diferentes tipos, sendo: *Shrimp*, *Crab* e *Rocker Bogie*, com foco na utilização de torque e consumo de energia. Apesar de ser um trabalho simulado, o projeto busca realizar a implementação física para aplicar em condições do semiárido.

Dando destaque aos demais trabalhos existentes sobre o tema, que contribuíram para uma base sólida e importante, tem-se: Mattos *et al.*, (2024), onde o estudo consistia em analisar

a viabilidade agrícola de baixo carbono adaptados ao bioma. No sistema desenvolvido foi feita uma adaptação adiante, já que o foco é na mobilidade de um *rover* para realizar a captura de dados do solo. No estudo de Suguimoto; Luiz Júnior (2023), eles utilizaram um dispositivo de baixo custo para captura de dados do ambiente em contextos da agricultura. Essa metodologia, reforça a importância de ferramentas acessíveis para esse público-alvo, o robô foi projetado para utilizar sensores adaptados para o solo na Caatinga.

Por fim, o trabalho considera os desafios que grande parte dos agricultores sofrem principalmente pela falta de acesso à tecnologia ágeis. Nesse viés, a tecnologia se faz fundamental para realizar sistemas desse tipo, que muitas vezes pela falta de conhecimento não são aplicadas corretamente. Desse modo, o sistema se torna uma alternativa prática e acessível principalmente para a agricultura familiar. Entretanto, para que o projeto funcione, é necessário que na sua construção cada componente seja utilizado corretamente para atender as necessidades do ambiente, com intuito de fortalecer esses agricultores com gastos mínimos em seu desenvolvimento.

3 PROPOSTA DE HARDWARE PARA ROVER DE BAIXO CUSTO NA CAATINGA

3.1 Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza experimental e descritiva, uma vez que envolve o desenvolvimento de um protótipo funcional e a realização de testes em ambiente real, visando avaliar seu desempenho no monitoramento ambiental.

Com o objetivo de isolar a complexidade, o desenvolvimento inicial do *rover* considerou uma quantidade de subsistemas. Tal abordagem é comum em projetos semelhantes uma vez que possibilitam paralelização na construção e independência entre partes, NASA (2024). Para o projeto atual, foram considerados os seguintes subsistemas: tratamento de dados, telecomunicações, energia elétrica e estrutura.

O subsistema de tratamento de dados é responsável por coletar as informações brutas do ambiente, realizar a filtragem e análise profunda e, por fim, o processamento desses dados, para dessa forma tomar decisões em relação ao controle do robô. Tal subsistema é importante por realizar a coleta de maneira precisa e em tempo real. Sem esse subsistema, não será possível ter dados já tratados, dificultando a agilidade de utilizar o *rover*.

O subsistema de telecomunicações é responsável por trabalhar em conjunto com o de tratamento de dados, pois, após realizar a coleta de dados há uma transmissão dessas informações de maneira contínua, recebendo comandos e atualizações, isso acontece porque a placa microcontroladora ESP32 disponibiliza Wi-Fi e *Bluetooth*, os dados são recebidos via esses mecanismos. Tal subsistema é importante pela praticidade da ESP32 que se faz fundamental para a integração do *rover* com uma interface web, onde os dados podem ser visualizados e sua operação monitorada, além de ser controlada remotamente.

O subsistema de energia elétrica é responsável por distribuir energia para os componentes em todos os horários, sendo fundamental para que o projeto possa funcionar corretamente. Além disso, se torna um dos subsistemas mais importantes, pois é uma alternativa sólida para garantir que haja energia elétrica por longos períodos. Sem esse subsistema, provavelmente o *rover* não durasse tanto tempo, pois todos os componentes que estão nele necessitam ser carregados por longas horas, além de que, é essencial haver energia disponível a todo momento, principalmente em dias nublados/chuvosos.

O subsistema de estrutura é responsável por toda a parte física do robô, dessa maneira foi aplicado um chassi que seja capaz de atender as necessidades do trabalho, para que todos os

componentes possam caber nele. Esse subsistema é fundamental para a proteção dos elementos, além de ser uma estrutura capaz de suportar todos os componentes eletrônicos que estão nele. Sem ele, o *rover* não seria capaz de existir, pois é necessária uma estrutura para guardar todos os componentes, então não o utilizar é um erro.

No mais, em relação a proteção de alguns elementos foi desenvolvido uma estrutura em MDF para proteger e garantir a durabilidade tanto do circuito, da bateria e do chassi em si, então para proteger tudo na parte externa foi criado uma alternativa que pudesse protegê-la. Dito isto, parte-se para desenvolver uma base simples em MDF, foi feito um tipo de “cobertura superior”, onde a cobertura de proteção é somente em cima dos componentes em conjuntos de “invólucro de proteção” para segurar a estrutura de cima e assim o restante do chassi não ficou por horas recebendo altas temperaturas e em consequência disso foi evitado que houvesse componentes danificados pelo sol.

3.2 Etapas de desenvolvimento

Como citado anteriormente, para a desenvoltura do sistema foi utilizado os componentes: uma placa microcontroladora EPS32, sensor de temperatura e umidade, fiações, bateria, pilhas, módulo carregador, suportes, chassi, servos motores, circuitos, botão, regulador de tensão LM2596 e o módulo L298N. A linguagem de programação para controlar o *rover* foi implementada em um algoritmo em C++, programar diretamente na *IDE* compatível com a ESP32, por ter diversas bibliotecas compatíveis com a placa.

Além disso, o software do projeto foi desenvolvido por meio de um código embarcado implementado no IDE do Arduino, responsável pelo controle da locomoção do *rover* e pela aquisição de dados ambientais. O algoritmo programado permite o acionamento dos motores por meio do módulo L298N, possibilitando os movimentos de avanço, recuo e mudança de direção. Além de que, o código realiza a leitura dos dados de temperatura e umidade fornecidos pelo sensor DHT11, processando essas informações e enviando-as para visualização externa, garantindo o monitoramento contínuo das condições ambientais. Dessa forma, o software integra o controle do deslocamento do *rover* com a coleta e transmissão de dados, assegurando o funcionamento adequado do sistema embarcado.

Com base em alguns componentes, e em diversas pesquisas feitas, observou-se a necessidade de soldar um circuito a uma bateria que fosse capaz de carregar em alguns momentos. Portanto, para solucionar esse problema, foi feito a inclusão de um painel solar para

realizar esse carregamento. Logo, a bateria deve ser carregada a qualquer momento e, consequentemente, os resultados obtidos foram satisfatórios. O que foi possível observar: O circuito exibe que a bateria está sendo carregada quando a luz vermelha estiver acesa e totalmente carregada quando estiver com a luz azul.

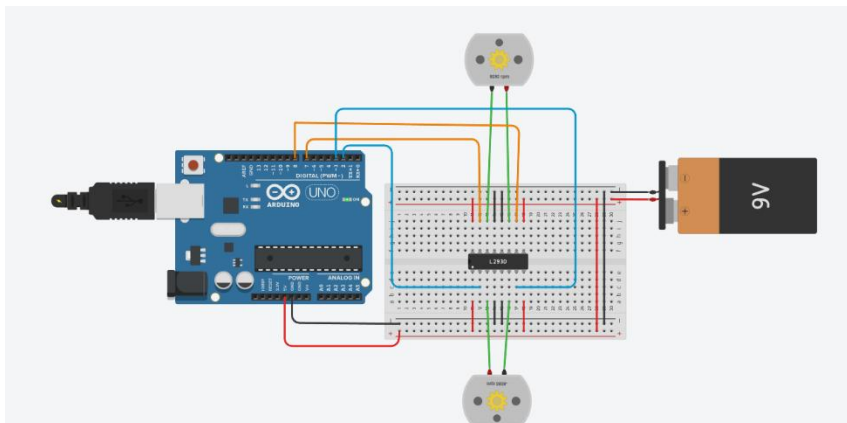
Conforme mencionado anteriormente, desenvolve-se uma alternativa para proteção dos componentes, então foi desenvolvido uma base em MDF para resolver os problemas e obtiveram-se resultados positivos. Anteriormente tinha uma estrutura de isopor revestida com papel alumínio, porém notou-se que a caixa realmente realizava essa proteção dos componentes dos raios solares, mas em contrapartida a temperatura que entrava nela não era liberada, então todo o ar que estava dentro da estrutura não era evacuado, podendo sobreaquecer os componentes que estavam dentro dela. Dessa forma, buscou-se novas alternativas, depois de muitas pesquisas escolheu-se cortar uma folha de MDF, justamente para ter essa deliberação de ar e ser uma proposta mais adequada.

Um dos desafios iniciais consistiu na adaptação da ESP32 em uma versão alimentada por energia solar, e como poderia ser feito isso. A resposta foi simples: utilizar a estrutura MDF e adicionar dois componentes, a própria ESP32 e um sensor de temperatura e umidade, para que possa informar a temperatura tanto da bateria quanto do painel, visto que, a utilização um mini painel solar de 5V possibilita fazer com que a placa seja uma ESP32 solar.

3.3 Ambiente de testes

Nesse sentido, para isolar o módulo L298N no chassi, foram realizados testes/simulações para verificar se as rodas estão respondendo corretamente os controles de direção e obstáculos que o *rover* deve enfrentar. Em testes realizados, notou-se que seria necessário utilizar um código para que as rodas pudessem receber esses comandos remotamente e sem erros. Testes foram feitos via Tinkercad utilizando um Arduino, já que a plataforma não disponibiliza de ESP32. Contudo, a criação do código foi desenvolvida diretamente no Arduino *IDE*, dessa forma, iniciou-se a etapa de testes das rodas com a utilização da ESP32.

Figura 9 - Circuito para Movimentar as Rodas



Fonte: Tinkercad (2025)

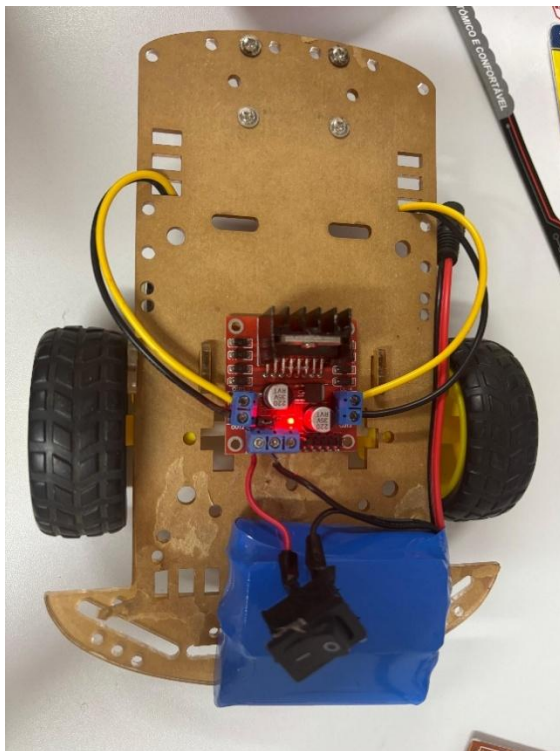
A Figura 9, consiste em um Arduino conectado a motores e uma bateria de 9V, esse exemplo serve para representar a lógica que pode ser usado para fazer com que as rodas funcionem para frente, lado e trás, bem como desviar de obstáculos.

Em diversas etapas, a integração dos componentes no chassi foi feita com intuito de testar se o *rover* está funcionando corretamente no ambiente da Caatinga. Isso acontece porque, o robô é controlado via comandos de um controle e assim não vai sofrer batidas, garantindo sua durabilidade.

Após a aquisição de todos os componentes necessários para a desenvolver o *rover*, foi iniciado a etapa de estruturação do robô, desde o desenvolvimento do código até a montagem física do equipamento. Procedeu-se à soldagem de todos os componentes no chassi, dando início ao módulo L298N a base e, posteriormente, à realização de testes com intuito de verificar se o *rover* respondia adequadamente aos comandos enviados controle.

Na Figura 10, tem-se a ilustração do chassi soldado ao módulo L298N utilizando pilhas AA como fonte de energia, para realizar os testes de comandos para frente, atrás, esquerda, direita e parar. Este procedimento só foi possível devido a utilização de sensores responsáveis por desviar de obstáculos.

Figura 10 – Chassi conectado ao Módulo L298N



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Nesse viés, foram integrados os subsistemas de tratamento de dados, telecomunicação e energia, assegurando que, ao ser colocado em um ambiente do campo, o dispositivo fosse capaz de realizar a captura de dados de maneira precisa e em seguida disponibilize informações eficientes.

Na Figura 11, apresenta-se o *rover* completamente montado, visto que todos os componentes já se encontram integrados ao chassi. Diferentemente da Figura 10, que evidenciava somente a conexão feita ao módulo L298N, esta etapa contempla a integração total do sistema, incluindo a ligação de todos os elementos fundamentais para o funcionamento do robô.

Figura 11 – Sistema Completo do Rover com Integração dos Subsistemas de Energia, Controle e Sensoriamento



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Após a montagem e a integração de todos os componentes ao chassi, foi concluída a etapa de metodológica referente ao desenvolvimento do *rover*. A configuração apresentada mostra que o sistema está completamente estruturado e apto para fase de testes experimentais, no qual serão analisados o desempenho dos sensores, a eficiência do gerenciamento energético, a estabilidade da comunicação e a resposta operacional do nosso robô em diferentes ambientes.

Portanto, encerra-se esta seção, assegurando que foram implementadas todas as etapas propostas no projeto. Nas Seções subsequentes, serão apresentados a validação dos resultados e discussões nos testes feitos em campo e as considerações finais deste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados e discussões obtidos através da montagem do *rover* e dos testes realizados em campo.

4.1 Protótipo montado

A etapa de construção do protótipo culminou na montagem completa do *rover*, integrado de todos os componentes estruturais, eletrônicos e energéticos de maneira organizada e funcional. Como citado, foi utilizado duas plataformas em fenolite, justamente para separar adequadamente os módulos de potência e controle, garantindo uma montagem limpa, prática e com boa distribuição de todos os componentes.

Na Figura 12, mostra a parte de soldagem de alguns componentes a outros, bem como para a própria ESP32.

Figura 12 - Soldagem de Componentes



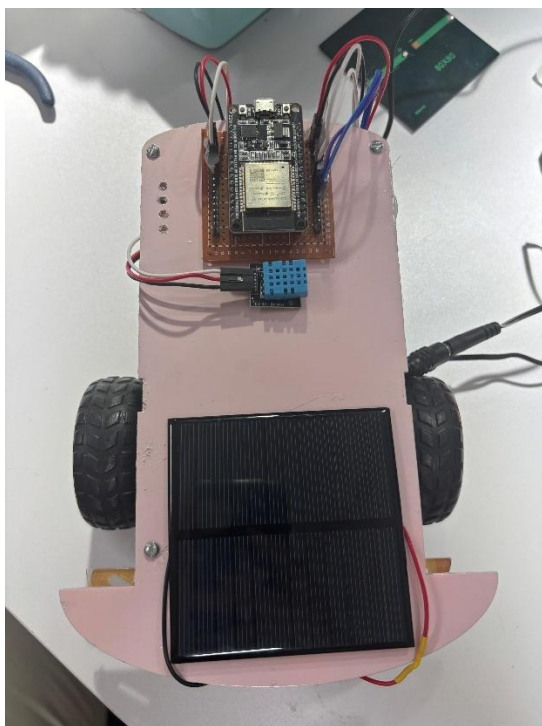
Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Na parte superior do chassi foram fixados o mini painel solar, a placa microcontroladora ESP32 e o sensor DHT11. Esses três componentes são responsáveis

pelo processamento e pela coleta de dados precisa. Além disso, uma boa distribuição desses elementos possibilitou uma ótima organização eficiente entre os demais componentes.

Na Figura 13, tem-se os componentes acoplados parte superior da estrutura do chassi.

Figura 13 – Componentes no Chassi na Parte Superior



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

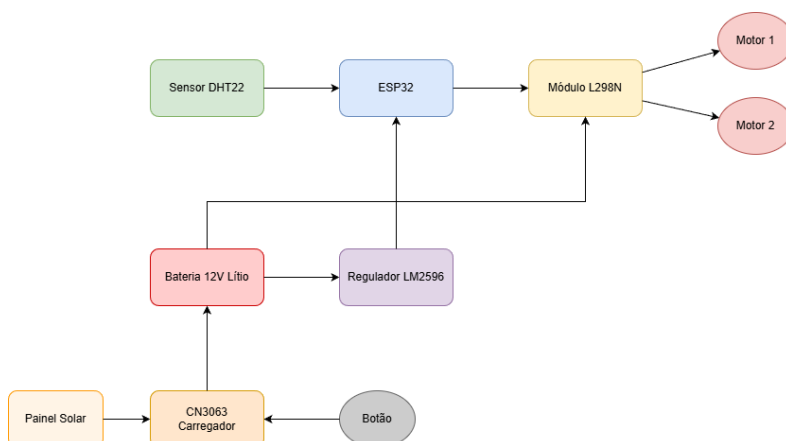
Na parte inferior ficou instalado somente os componentes que não podem receber raios solares por longas horas, ou seja, esses componentes têm uma possibilidade grande de sobreaquecer e, conseqüentemente, prejudicar os demais eletrônicos na parte superior, que são essenciais para o funcionamento do projeto, e é devido a isso que foi necessário a implementação de uma parte superior para proteger e aumentar a durabilidade dos componentes.

Nesse sentido, nesta parte ficou o módulo L298N, os motores DC, as baterias, o regulador de tensão e o circuito responsável pelo sistema de tração e pela gestão de energia. Além disso, a montagem dos motores com as rodas laterais em conjunto da roda caster frontal, proporcionou uma estrutura mais estável e, principalmente para o

deslocamento em ambientes hostis. Todos os componentes foram soldados de maneira segura e eficiente, garantindo a integridade física do robô.

Na Figura 14, apresenta o diagrama de conexão do sistema do *rover*, evidenciando a forma como cada componente foi conectado, de maneira que garantiu seu funcionamento no sistema. Esse diagrama permite visualizar a integração em os módulos, o que facilita o entendimento da arquitetura do robô.

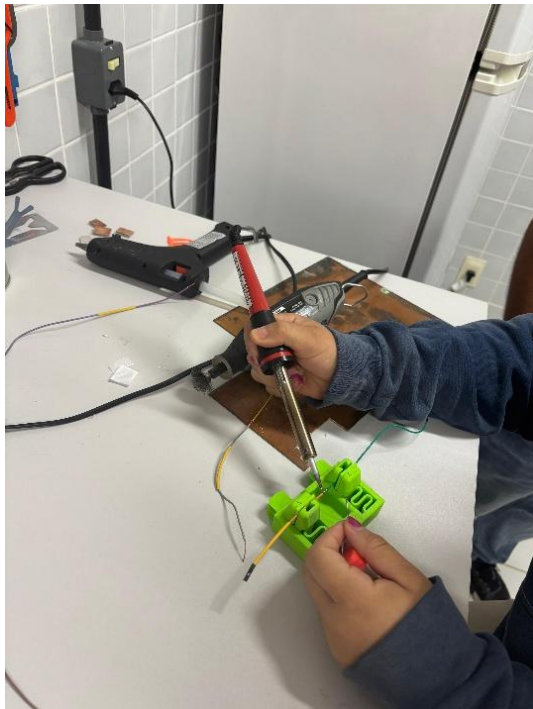
Figura 14 - Diagrama de Conexões



Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 15, apresenta resulta em partes finais de soldagem dos fios de ligações direta entre a ESP32 com o modulo L298N, para que o *rover* possa entender os comandos de locomoção; frente, atrás, parar, direita e esquerda.

Figura 15 - Fios de Ligação do L298N para ESP32



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Neste sentido, obteve-se um protótipo completamente construído e funcional, integrados dos componentes previstos ao início desse trabalho. Em outras palavras, a montagem demonstrou compatibilidade entre todos e comprovou a eficácia em escolher bons componentes eletrônicos.

4.2 Análise de custo e acessibilidade

A análise de custo do *rover* evidencia a viabilidade do desenvolvimento de uma solução tecnológica acessível, utilizando componentes de baixo custo e fácil obtenção no mercado. Conforme apresentado na Tabela 5, o investimento total para a construção do protótipo foi de R\$ 200,07, valor significativamente inferior ao de sistemas comerciais com funcionalidades semelhantes.

A utilização de dispositivos como a ESP32, o sensor DHT11 e módulos eletrônicos amplamente difundidos contribui para a redução de custos, sem comprometer o funcionamento básico do sistema. Dessa forma, o projeto demonstra potencial de aplicação no contexto da agricultura familiar, ao oferecer uma alternativa

economicamente viável para o monitoramento ambiental, favorecendo a adoção de tecnologias acessíveis em regiões com recursos limitados.

Tabela 5 - Investimento para Desenvolvimento do Rover

Componentes do Rover	Preço
ESP32	R\$ 32,88
Sensor DHT11	R\$ 16,18
Bateria de 12V	R\$ 51,32
Módulo Carregador CN3065	R\$ 19,71
Chassi	R\$ 56,90
LM2596	R\$ 12,00
Módulo L298N	R\$ 11,08
Total	R\$ 200,07

Fonte: Autoria própria (2025)

Essas informações são importantes para que o agricultor tenha noção dos gastos realizados para desenvolver um sistema desse nível. Cada componente foi selecionado com intuito de auxiliar pequenos agricultores a ter gastos mínimos a construir o *rover* para monitoramento das suas plantações.

4.3 Coleta de dados

Quanto aos resultados da coleta de dados, o sensor DHT11 realizou a medição de temperatura por meio de um termistor e captou a umidade do ar utilizando o próprio capacitor do sensor. Em seguida, o sensor converteu essas medições para digital dentro do próprio chip, assim, processou e corrigiu, transmitindo os dados em bits para a ESP32, que então interpretou esses bits e transformou nos valores numéricos utilizados.

No dia 09 de Dezembro de 2025, o sensor identificou uma variação de temperatura e umidade do ar ao longo do dia. É possível notar alterações nos dados em questão de segundos. Em comparação do dia seguinte, 10 de Dezembro de 2025, observa-se que o tempo estava mais frio e com uma umidade estável durante todo o momento em que o *rover* permaneceu no ambiente. Esses resultados demonstram a variação dos dados do ambiente, ressaltando a necessidade de realizar a coleta de

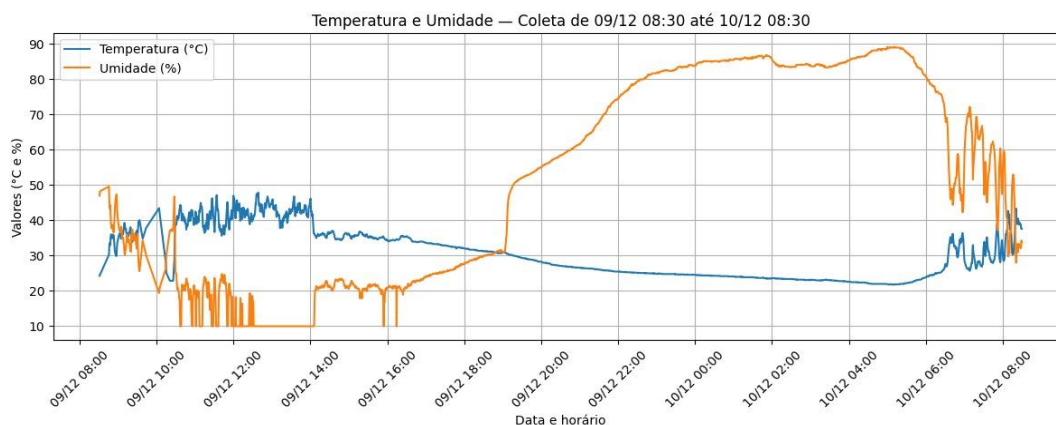
dados precisos e eficientes, principalmente em verificações desse tipo, visto que o sistema tem o intuito de auxiliar os agricultores na tomada de decisões.

Os resultados foram encaminhados para uma planilha do google, onde foram registrados os dados coletados pelo sensor DHT11. Após a obtenção dos dados fornecidos, o envio foi feito para planilha por meio de código embarcado em C++, que por sua vez, transmite essas informações. Dessa forma, tornou-se possível acessar os dados coletados em tempo real, referentes aos valores de temperatura e umidade do ar do ambiente posto o *rover*.

O processo de comunicação entre o microcontrolador ESP32 e a planilha Google é realizado de forma automatizada, utilizando a conexão Wi-Fi do dispositivo e um serviço web intermediário desenvolvido na plataforma Google Apps Script. Esse procedimento permite registrar, em tempo real ou de modo assíncrono, os valores de temperatura e umidade coletados pelo sensor DHT11 diretamente em uma planilha armazenada no Google Sheets. Antes do envio, os valores de temperatura e umidade são organizados em uma estrutura de texto no formato JSON (JavaScript Object Notation) e os dados são enviados utilizando o protocolo HTTP.

Na Figura 16, tem-se o gráfico de temperatura e umidade do ar da coleta do sensor DHT11. O *rover* foi posto ao lado da Central dos Professores 2 do Campus Pau dos Ferros, simulando um ambiente da Caatinga. Nesse local, o sensor realizou a captura dos dados durante um período de um dia, evidenciando oscilações continuada decorrentes das condições naturais do ambiente em que o *rover* estava.

Figura 16 – Temperatura e Umidade do Ar – Coleta de 09/12 08:30 até 10/12 08:30



Fonte: Autoria própria (2025)

Os dados indicam que, durante o período da manhã, a temperatura permaneceu em níveis mais baixos, enquanto a umidade relativa do ar apresentou valores elevados, comportamento esperado para ambientes semiáridos. Durante o período da tarde ocorre o aquecimento, de forma que a temperatura aumenta e a umidade tem uma redução. A noite é quando acontece o comportamento oposto, que é justamente quando há queda de temperatura e aumento de umidade.

De modo geral, observa-se uma relação inversa entre os parâmetros analisados, o que reforça a coerência dos dados coletados, evidenciando a capacidade do sistema em realizar a coleta de dados adequadamente do ambiente.

Figura 17 - Temperatura - 09/12 (a partir das 08:30)

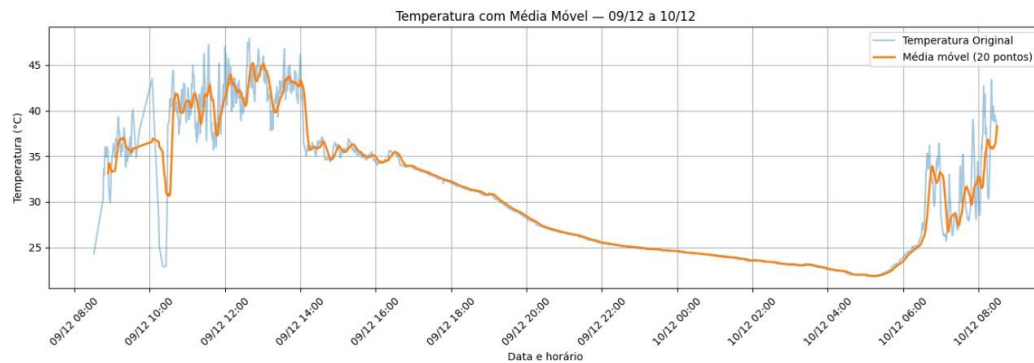


Fonte: Autoria própria (2025)

O Gráfico da Figura 17, apresenta a temperatura do dia 09/12, as 08:30, no qual foi feita a análise mais detalhada exclusivamente no comportamento térmico ao longo do dia. No início da manhã a temperatura manteve-se em níveis moderados, justamente por ser no início do dia e tem-se uma elevação durante o aumento de temperatura.

Além disso, pode-se identificar uma estabilidade térmica, o que justifica ao elevado pico de calor diário, em contrapartida, ao fim da tarde e início da noite tem uma queda, evidenciando essa variação de temperaturas durante o dia. Os dados registrados comprovam o comportamento do ambiente esperado, reforçam fidelidade das medições feita pelo sensor.

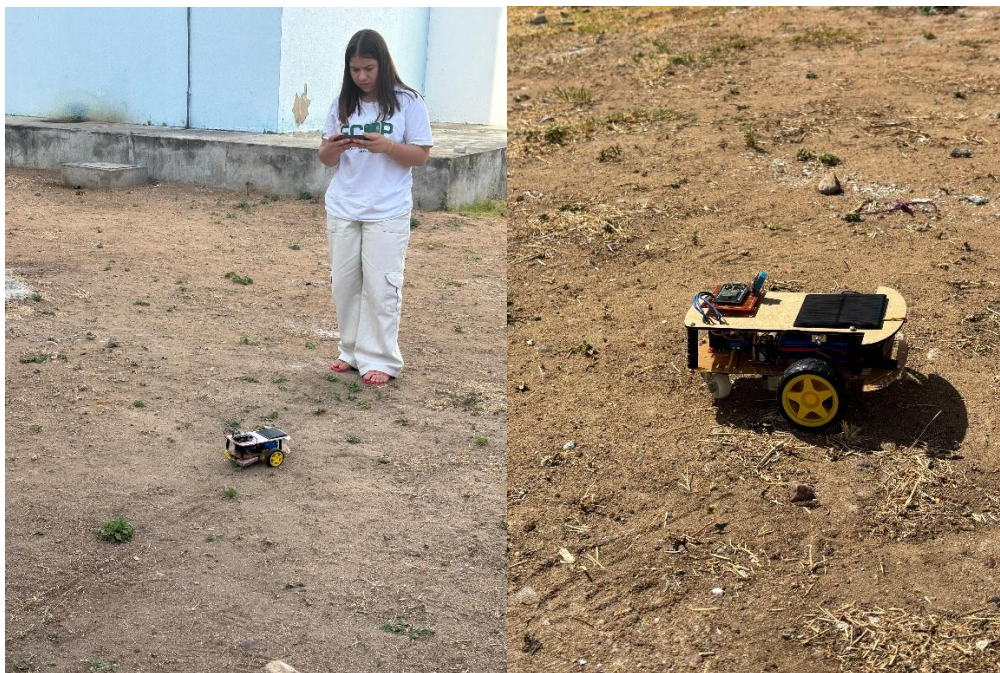
Figura 18 – Temperatura com Média Móvel 09/12 a 10/12



Fonte: Autoria própria (2025)

No Gráfico da Figura 18, apresenta dados referente a temperatura com média móvel aplicada, de cerca de até 20 pontos, ou seja, permitindo a redução nas oscilações individuais, evidenciando o comportamento da curva térmica.

Figura 19 - Rover Operando em Simulação de Ambiente da Caatinga



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

A Figura 19, consiste no protótipo aplicado em um ambiente com condições adversas. Dessa forma, foi capaz de capturar informações importante da temperatura e umidade do ar do local. Além disso, o *rover* foi aplicado em diferentes locais para verificar a variação de temperatura e umidade de cada ambiente.

Esses resultados obtidos reforçam a relevância de empregar tecnologias como as utilizadas no projeto, evidenciando soluções de baixo custo e uma boa integração entre hardware e software tem a capacidade de garantir uma coleta de dados com precisão e consistência.

De maneira geral, pode-se observar que o sistema manteve um bom desempenho aplicado no campo, em condições climáticas distintas, o que comprova sua aplicação em trabalhos no ambiente do semiárido, além de que o *rover* demonstrou sua robustez e adaptação em diferentes cenários, demonstrando o seu potencial em monitoramento na agricultura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo desenvolvido mostrou-se uma alternativa acessível, funcional e de fácil manuseio, reforçando a viabilidade do uso de ferramentas de baixo custo na construção de projetos tecnicamente aplicáveis. Durante os testes realizados, o sistema apresentou comportamento estável, indicando que a proposta é adequada para operações em ambientes distintos, incluindo o contexto do bioma Caatinga.

No âmbito da agricultura familiar, a adoção de tecnologias acessíveis apresenta elevada relevância, uma vez que possibilita o monitoramento de variáveis ambientais essenciais, como temperatura e umidade, contribuindo para uma melhor compreensão das condições reais do solo e do clima local. Dessa forma, o projeto demonstra potencial para reduzir barreiras relacionadas à limitação de acesso a tecnologias de campo, oferecendo uma solução prática para apoiar a tomada de decisões no manejo agrícola.

Entretanto, é importante destacar as limitações do presente estudo. O sistema utilizou sensores de baixo custo, os quais, embora adequados para fins de monitoramento preliminar, podem apresentar menor precisão quando comparados a instrumentos profissionais calibrados. Além disso, o período de coleta de dados foi relativamente curto, não contemplando variações sazonais mais amplas. Ressalta-se ainda a ausência de comparações diretas entre os dados obtidos pelo protótipo e medições realizadas por equipamentos calibrados, o que limita a validação quantitativa dos resultados.

Apesar dessas restrições, o estudo evidencia possibilidades de expansão futura, como a integração de sensores adicionais, a ampliação do período de coleta de dados, a calibração comparativa dos sensores e a evolução do sistema para um modelo totalmente autônomo.

Do ponto de vista científico e tecnológico, este trabalho contribui ao apresentar uma proposta de arquitetura de hardware de baixo custo aplicada ao monitoramento ambiental no contexto da agricultura familiar na Caatinga. A integração de sensores ambientais com uma plataforma microcontrolada, aliada ao uso de fontes alternativas de energia, amplia o conhecimento sobre soluções acessíveis para ambientes com limitações climáticas e econômicas. Além disso, os resultados obtidos servem como referência para trabalhos futuros, possibilitando a reprodução, adaptação e evolução do sistema em diferentes contextos agrícolas e ambientais.

Diante disso, conclui-se que o protótipo atendeu aos objetivos propostos, embora apresente limitações relacionadas ao número de sensores utilizados e ao período restrito de coleta de dados, aspectos que podem ser aprimorados em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JÚNIOR, Antônio Decelmo. **Estação meteorológica de baixo custo para aplicação agrícola 2.0**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Computação) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/d03568a0-348a-4e60-a2e4-d92c2da0a764>. Acesso em: 10 ago. 2025.
- ÁLVAREZ, J. et al. Safety enhancement in planetary rovers. **Journal of aerospace and robotics**, v. 12, n. 3, p. 45–56, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576524001234>. Acesso em: 2 ago. 2025.
- APPLYING ESP32 AND LORA RA-02 MODULE, Controlling and monitoring water saving system in agriculture. **International journal of advanced engineering and management**, 2020. Disponível em: https://ijaem.net/issue_dcp/Applying%20Esp32%20and%20Lora%20Ra%2002%20Module%20C%20Controlling%20and%20Monitoring%20Water%20Saving%20System%20in%20Agriculture.pdf. Acesso em: 10 set. 2025.
- ARCHILA, Juan et al. **Simulation of rovers for precision agriculture**. 2014. Disponível em: <https://apolo.unab.edu.co/en/publications/simulation-of-rovers-for-precision-agriculture/>. Acesso em: 1 nov. 2025.
- AULA, A. et al. **Utilizing the all-terrain capable mars rover as robotic platform for field application in tech-based smart agriculture**. 2024. Disponível em: <https://jurnaleccis.ub.ac.id/index.php/eccis/article/download/1690/492>. Acesso em: 1 nov. 2025.
- AUTOCORE ROBÓTICA. **Mini painel solar 5v 200 mA**. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/mini-painel-solar-5v-200ma>. Acesso em: 19 nov. 2025.
- BORALKAR, S. et al. IoT based smart agriculture system using esp32. **International journal of advanced research in science and technology**, 2021. Disponível em: <https://www.ijarst.in/public/uploads/paper/532501746465283.pdf>. Acesso em: 10 set. 2025.
- BOSCHETTI, G.; BOTTIN, M.; MINTO, R. AI Technologies for collaborative and service robots. **Applied sciences**, v. 14, n. 24, p. 11811, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/24/11811>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- CENTRAL ÚNICA DOS TRABALHADORES (CUT). **Quem produz os alimentos que chegam à mesa do brasileiro?** Disponível em: <https://www.cut.org.br/noticias/quem-produz-os-alimentos-que-chegam-a-mesa-do-brasileiro-f1da>. Acesso em: 10 ago. 2025.
- CONSELHO FEDERAL DE NUTRICIONISTAS (CFN). **Agricultura familiar produz 70% dos alimentos consumidos por brasileiros**. Disponível em: <https://www.cfn.org.br/index.php/nutricao-na-midia/agricultura-familiar-produz-70-dos-alimentos-consumidos-por-brasileiro/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

COSTA, Felipe T.; SCHIEBELBEIN, Luis M.; SANTOS, Max M. D.; STEVAN JR., Sergio L. **Uma visão geral da aplicação de sensores em máquinas agrícolas**. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Costa-18/publication/317195304/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

DATASHEET: **Lithium ion battery charger for solar-powered systems cn3065**. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1133212/CONSONANCE/CN3065.html>. Acesso em: 19 nov. 2025.

DHT11 – **Temperature and humidity sensor datasheet**. Disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2025.

DOHERTY, M. et al. **Soil water status monitoring with proximal low-cost sensors**. PMC, 2012. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11679594/>. Acesso em: 10 set. 2025.

ESP32 series datasheet 2019. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>. Acesso em: 19 dez. 2025.

ESPRESSIF. esp32 series datasheet. Disponível em: https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.html. Acesso em: 25 nov. 2025.

GRIGORESCU, S.; ZAHA, M. **CyberCortex.AI: An ai-based operating system for autonomous robotics and complex automation**. arxiv, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2409.01241>. Acesso em: 20 jul. 2025.

HSIEH, C. T. et al. **Development of proportional-integral-derivative based autonomous robot using esp32 and l298n motor drive**. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4591/92/1/24>. Acesso em: 1 nov. 2025.

IMPLEMENTATION of iot in the design of arduino-based solar panel monitoring system. Disponível em: <https://ojs.unimal.ac.id/mjmst/article/view/21790>. Acesso em: 19 nov. 2025.

JOURNAL OF ADVANCEMENTS IN ROBOTICS. ExploroBot: A versatile robotic **Explorer**. v. 11, n. 2, 2024. Disponível em: <https://journals.stmjournals.com/joarb/article%3D2024/view%3D155905/>. Acesso em: 7 ago. 2025.

KITRONIK. 5v 200 ma solar cell – Technical datasheet. Disponível em: <https://resources.ampheo.com/static/datasheets/kitronik/3605.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2025.

LM2596 simple switcher power converter 150 khz 3a step-down voltage regulator. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/520535/TI1/LM2596S-5.0.html>. Acesso em: 01 dez. 2025.

MARKET.US. **All-terrain robot market size, trends and forecast 2024–2033**. 2024. Disponível em: <https://market.us/report/all-terrain-robot-market/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

MATTOS, Ana et al. **Implantação de tecnologias agrícolas de baixo carbono na caatinga**. 2024. Disponível em: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/lxLrDnm2/>. Acesso em: 1 nov. 2025.

MELLO, Márcio. **Placa ESP32: O que é, para que serve e uso**. Victor Vision – Blog, 2023. Disponível em: <https://victorvision.com.br/blog/placa-esp32/>. Acesso em: 30 ago. 2025.

NASA. basics of space flight – Chapter 11.1. Washington, DC: NASA, 2024. Disponível em: <https://science.nasa.gov/learn/basics-of-space-flight/chapter11-1/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

NIPPON.COM. **Disaster response robot developed by chiba institute of technology and partners**. 2011. Disponível em: <https://www.nippon.com/en/views/b00904/>. Acesso em: 8 ago. 2025.

NUNES, José. **A agricultura de precisão como ferramenta para o produtor rural**. 2014. Disponível em: <http://www.senar.org.br/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

PATIL, Rupali et al. **Design and development...** 2022. Disponível em: <https://journal.ijresm.com/index.php/ijresm/article/view/2274>. Acesso em: 30 ago. 2025.

PLANETA CAMPO. **Agricultura familiar é responsável por 70% da comida presente na mesa dos brasileiros**. Disponível em: <https://planetacampo.canalrural.com.br/agricultura/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

PROGRAMA AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2018. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

QUINCE. **Disaster response robot developed by chiba institute of technology**. 2011. Disponível em: <https://www.nippon.com/en/views/b00904/>. Acesso em: 8 ago. 2025.

SOARES, João et al. **AgriSense: Um hardware livre e de baixo custo para agricultura digital**. 2023. disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbiagro/article/view/26581>. Acesso em: 1 nov. 2025.

SONAWANE, Prathmesh et al. **Agricultural pesticide spraying robot**. 2025. Disponível em: <http://ijrsrset.com/>. Acesso em: 1 nov. 2025.

SUGUIMOTO, Pedro; LUIZ JÚNIOR, Carlos. **Protótipo de sensoriamento ambiental de baixo custo**. 2023. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/>. Acesso em: 1 nov. 2025.

Task-Level authoring for remote robot teleoperation. 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8502825/>. Acesso em: 19 nov. 2025.

YASEEN, M. et al. **Agri-Inspect Rover**. IJERT, 2025. Disponível em: <https://www.ijert.org/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

ZUCHRIADI, Achmad et al. **Agricultural monitoring system using esp32**. 2023. Disponível em: <https://iocscience.org/>. Acesso em: 30 ago. 2025.