

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA POLITÉCNICA

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL
TELECONTROLADO PARA OPERAÇÕES ANTIBOMBAS**

Porto Alegre, 24 de novembro de 2024

Autor: Vinícius Oliveira Dias

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Curso de Engenharia de Controle e Automação

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - CEP: 90619-900 - Porto Alegre - RS - Brasil

Email: vinicius.d95@edu.pucrs.br

Orientador: Prof. Renan Caron Viero

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Bloco F - Sala 204 - CEP: 90619-900 - Porto Alegre - RS - Brasil

Email: renan.viero@pucrs.br

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu filho, cuja alegria e entusiasmo contagiante sempre me motivaram a seguir em frente. Sua presença iluminou os momentos mais desafiadores, e por isso, sou eternamente grato.

À minha esposa, pelo apoio incondicional, paciência e compreensão nos momentos mais difíceis desta jornada. Sua força e incentivo foram fundamentais para que este trabalho se tornasse realidade.

Aos meus pais, pelo amor, pelos valores que me ensinaram e por acreditarem em mim em todas as etapas da vida. Seu exemplo foi e sempre será meu maior guia.

Agradeço também ao meu professor orientador, pelo direcionamento e incentivo ao longo deste trabalho, assim como a todos os professores que compartilharam seus conhecimentos durante minha formação acadêmica. Suas contribuições foram essenciais para meu crescimento pessoal e profissional.

A vocês, minha família e mestres, minha eterna gratidão por terem sido parte fundamental desta jornada.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

(Theodore Roosevelt)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo robótico funcional especificamente projetado para situações de grande risco envolvendo artefatos explosivos. O projeto visa atender a requisitos reais, como a capacidade de transpor terrenos adversos, subir escadas, possuir comunicação sem fio, transmitir imagens em tempo real e manipular cargas. Utilizaram-se peças de catálogo facilmente acessíveis no mercado para manter o orçamento baixo, enquanto o chassi e as partes móveis foram projetados e analisados em simulações computacionais. Objetiva-se um hardware reforçado para operar em condições climáticas extremas e terrenos adversos, e um software preparado para a atividade de neutralização de explosivos, buscando garantir a segurança e a eficiência nas operações. Critérios e procedimentos ambientais foram adotados durante todo o desenvolvimento do projeto, visando minimizar o impacto ambiental. Realizou-se uma série de testes ao final do projeto, o protótipo obtido se apresentou como uma plataforma robusta e de baixo custo, sendo uma solução promissora para aplicações na área militar e de segurança pública.

Palavras-chave: artefatos explosivos. *Explosive Ordinance Disposal* (EOD). Tele operação. Robôs de segurança.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	MOTIVAÇÃO.....	5
1.2	OBJETIVO.....	6
1.3	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3	METODOLOGIA.....	12
3.1	DEFINIÇÃO E ANÁLISE DOS REQUISITOS DO PROJETO.....	13
3.2	IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE:.....	13
3.3	PESQUISA DE SUPORTE.....	14
3.4	ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO.....	14
3.4.1	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	15
3.5	PROJETO E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	16
3.5.1	DESIGN GERAL.....	16
3.5.2	CHASSIS.....	18
3.5.3	DIMENSIONAMENTO DOS MOTORES DAS ESTEIRAS	21
3.5.4	ESTEIRAS DE TRAÇÃO E SUSPENSÃO.....	25
3.5.5	BRAÇO MANIPULADOR.....	25
3.5.6	DIAGRAMA ELÉTRICO DO ROBÔ E.O.D.	26
3.5.7	DIMENSIONAMENTO DAS BATERIAS	30
3.5.8	COMUNICAÇÃO E TRANSMISSÃO DE DADOS	32
3.5.9	DISPOSITIVO TÁTIL PARA CONTROLE À DISTÂNCIA	34
3.6	Estudo da Faixa de Temperatura e Sensibilidade Térmica	35
3.7	TESTES DE PERFORMANCE	37
3.7.1	ANÁLISE E RESULTADO DO TESTE 1	37
3.7.2	ANÁLISE E RESULTADO DO TESTE 2	39
3.7.3	ANÁLISE E RESULTADO DO TESTE 3	40
4	CUSTOS DO PROJETO.....	40
4.1	CUSTO DE HORAS TÉCNICAS.....	40
4.2	CUSTO DE AQUISIÇÃO DE COMPONENTES.....	41
4.3	CUSTOS DE ROYALTIES.....	42
4.4	CUSTO FINAL DO PROJETO	45
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	45
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

7	APÊNDICE	49
7.1	Apêndice 1: Código do ESP32 Mestre (Dispositivo Tátil de Controle)	49
7.2	Apêndice 2: Código do ESP32 Receptor (Localizado no Chassis)	52
7.3	Apêndice 3: Código dos Módulos ESP32-CAM (Streaming de Vídeo).....	57
7.4	Apêndice 4: Código do ESP32 para Criação da Rede Wi-Fi (Access Point)	59
8	ANEXOS.....	60
8.1	ANEXO A.....	60

1 INTRODUÇÃO

A noção de robôs ou de máquinas concebidas para auxiliar os seres humanos em suas atividades remonta à séculos passados. Embora seja difícil identificar o ponto exato de origem dessa ideia, é provável que diversos engenheiros visionários ao longo da história tenham concebido ou imaginado algum tipo de robô. No passado, um robô era basicamente definido como uma máquina, essencialmente um dispositivo mecânico especial. Exemplos desses dispositivos, mesmo os mais complexos, podem ser encontrados na história e têm origens muito antigas (Matarić, 2007).

Com o avanço da ciência e da tecnologia, a ideia de robôs foi se aperfeiçoando, e muitos sonhos que antes pareciam inalcançáveis começaram a se tornar realidade, ou pelo menos entraram no campo das possibilidades (Matarić, 2007).

Uma categoria especial de robôs que merece destaque são os robôs telecontrolados. À rigor, estas máquinas não são consideradas exemplos de robôs, pois não possuem a característica da autonomia, sendo então controladas externamente por operadores humanos. (Munhoz, 2017).

Especificamente, o termo teleoperação refere-se ao conceito de controlar um manipulador ou veículo com uma estrutura complexa para executar uma tarefa específica (Matarić, 2007). Sendo assim, a telerrobótica oferece recursos que permitem aplicações em diversas áreas onde a interação humana é essencial, mas onde a presença física é inviável ou arriscada para garantir a integridade das pessoas. (HU et al, 2001 apud Dias, 2010).

Uma das áreas de aplicação dos robôs telecontrolados é na esfera militar e de segurança pública, especialmente para a desativação de bombas, sendo esses sistemas conhecidos como E.O.D (*Explosive Ordnance Disposal*). Esses robôs desempenham um papel crucial ao substituir seres humanos em tarefas perigosas, como a detecção, remoção, transporte e desarmamento de artefatos explosivos. Ao operar remotamente, os robôs E.O.D permite-se que os operadores mantenham uma distância segura, minimizando o risco de ferimentos ou fatalidades em situações de alta periculosidade. Além disso, sua utilização aumenta a eficiência e a segurança das operações, ao reduzir a exposição direta dos profissionais a explosivos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do projeto de um robô móvel teleoperado (robô E.O.D), com foco na mecânica, hardware e software, que seja de baixo custo e capaz de manipular objetos perigosos.

1.1 MOTIVAÇÃO

No cenário brasileiro, houve um grande avanço da criminalidade, que evoluiu e se desenvolveu tecnologicamente, passando a utilizar explosivos de forma cada vez mais frequente; como em ações como roubo e furto a caixas eletrônicos e empresas de transporte de valores, extorsões e até resgate de presos. No ano de 2011 foram registrados mais de 3 mil incidentes de arrombamentos envolvendo artefatos explosivos, além do histórico do uso de explosivos por pessoas desequilibradas em busca de vingança, vândalos e atentados políticos (LEÃO,2022).

A Tabela 1 apresenta um levantamento feito pela REVISTA BRASILEIRA DE OPERAÇÕES ANTIBOMBAS entre os anos de 2013 e 2017, que mostra uma média anual de quase 1.000 ocorrências criminais envolvendo explosivos no Brasil.

TABELA 1 – Quantidade de incidentes computados de 2013 a 2017

ANO	OCORRÊNCIAS ENVOLVENDO EXPLOSIVOS
2013	944
2014	1003
2015	885
2016	903
2017	836
TOTAL ACUMULADO	4571

Fonte: Conforme REVISTA BRASILEIRA DE OPERAÇÕES ANTIBOMBAS | Curitiba, Vol. 1, N. 1, Jun. 2020, p. 5-26

Segundo o Governo do Distrito Federal (2024) A taxa de crescimento da criminalidade tem superado a capacidade da administração pública em adquirir novos equipamentos. Entre 2010 e 2019, o Distrito Federal registrou um aumento superior a 400% nas ocorrências envolvendo artefatos explosivos. Para prevenir ações criminosas que utilizam explosivos, um dos métodos mais eficazes é contar com profissionais bem treinados e equipamentos especializados. Neste sentido os robôs antibombas são ferramentas essenciais para todos os grupos especializados em explosivos ao redor do mundo. Eles são cruciais porque oferecem uma camada adicional de segurança para os operadores. Em situações de alto risco, como as

que envolvem bombas é esse equipamento que irá manipular o objeto suspeito, que é o momento mais crítico da operação.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é projetar e construir um protótipo de robô E.O.D de baixo custo, visando atender necessidades reais identificadas por diversas forças policiais em todo o Brasil. Pretende-se fornecer uma solução eficaz e acessível para as operações de desativação de artefatos explosivos, melhorando a segurança, a eficiência e confiabilidade de operações deste tipo. Para isso o projeto foi concebido tendo como base exigências comerciais já existentes. No entanto, embora o objetivo seja aproximar-se destas demandas práticas, algumas especificações foram ajustadas para garantir a viabilidade do projeto dentro dos recursos disponíveis.

1.3 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais delimitações do estudo são: o projeto se concentrará na concepção e construção de um robô antibomba telecontrolado de pequeno porte, com ênfase em características como praticidade no transporte, agilidade nas manobras e operação em locais de difícil acesso.

Serão abordadas as especificações técnicas do robô, incluindo velocidade, comunicação sem fio, capacidade de carga, autonomia, etc.

O trabalho não contemplará o desenvolvimento de robôs para outros tipos de operações táticas ou de resgate que não estejam diretamente relacionados à desativação de artefatos explosivos. Estas delimitações visam garantir que o foco do projeto seja claro e que as soluções propostas atendam especificamente às necessidades selecionadas, sem abranger áreas que possam desviar do objetivo principal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, são apresentados e definidos termos e conceitos relacionados ao projeto, com o objetivo de estabelecer uma base teórica consistente para a sua compreensão e desenvolvimento:

-EXPLOSÃO

Explosão é um termo que possui diversas definições. De acordo com a Associação Nacional de Proteção contra Incêndios dos Estados Unidos (NFPA), uma explosão é caracterizada pela liberação súbita de gás em alta pressão no ambiente ao redor, acompanhada por uma onda de choque. Outra definição a descreve como a rápida transformação de energia física ou química em energia cinética, também gerando uma onda de choque. Apesar das variações nos conceitos, há três características comuns: (a) ocorre em um intervalo extremamente curto de tempo (frações de segundo), (b) resulta em alta pressão e (c) afeta diretamente o ambiente ao redor (TAGHIZADEH et al., 2012).

Conforme analisado por Tozzini (2019) A combustão é a reação de um material com oxigênio, liberando energia em forma de calor, luz e movimento. Existem duas formas principais de combustão explosiva: deflagração e detonação.

Deflagração: Trata-se de uma combustão muito rápida, mas menos violenta que a detonação. A reação ocorre de molécula a molécula, como um efeito dominó, podendo acontecer mesmo em ambientes confinados, pois muitos materiais que deflagram possuem agentes oxidantes e redutores em sua composição química. A reação depende de energia de ativação (térmica ou cinética) e se propaga a velocidades entre 400 e 900 m/s.

Detonação: É uma combustão extremamente violenta, na qual a reação se propaga por ondas de choque, a velocidades muito maiores, entre 1000 e 8500 m/s. Assim como na deflagração, o material contém oxidantes e redutores, mas a propagação ocorre de forma muito mais rápida e energética.

Ambas as reações liberam grandes quantidades de energia, mas diferem na velocidade e nos mecanismos de propagação.

- MOVIMENTO NO PLANO INCLINADO

Ao resolver problemas envolvendo movimentos em um plano inclinado, diversas leis físicas são aplicadas para decompor e entender as forças que atuam sobre o objeto (HALLIDAY,2020). Essas leis permitem calcular variáveis fundamentais, como aceleração, força de atrito, força normal e outras grandezas relevantes ao comportamento do sistema. No contexto dos cálculos apresentados, destacam-se as seguintes leis e princípios:

-Força Gravitacional e Força Normal

A Lei da Gravitação Universal, que estabelece que todos os corpos atraem uns aos outros com uma força proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da

distância entre eles, é fundamental para entender o comportamento do objeto em um plano inclinado. No cálculo da Força Normal (N), que é a força de contato perpendicular à superfície de apoio, essa lei é aplicada para decompor a força gravitacional ($m \cdot g$) em duas componentes: uma paralela ao plano e outra perpendicular ao plano. A componente perpendicular é a que resulta na Força Normal, dada pela equação:

$$N = m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (1)$$

Onde θ é o ângulo de inclinação.

-Lei de Atrito:

A Lei do Atrito, que descreve a força de resistência entre dois corpos em contato, é aplicada para calcular a Força de Atrito Estático (F_{at}). Essa força é proporcional à força normal e ao coeficiente de atrito, expresso pela equação:

$$F_{at_e} = \mu_e \cdot N \quad (2)$$

Onde μ é o coeficiente de atrito estático. O atrito é uma força que se opõe ao movimento do objeto e atua de forma contrária à direção do deslocamento.

-Segunda Lei de Newton:

A Segunda Lei de Newton, afirma que a força resultante sobre um objeto é igual ao produto de sua massa e sua aceleração, conforme a equação:

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

É uma das leis mais fundamentais para entender o movimento de objetos. No caso de um plano inclinado, ela é utilizada para decompor a força gravitacional que atua sobre o objeto. A componente da força gravitacional na direção do plano, responsável por puxar o objeto para baixo, é calculada pela equação:

$$P_x = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (4)$$

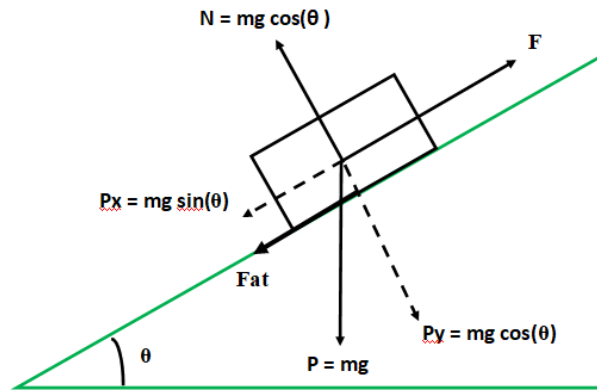
-Princípio da Superposição das Forças:

O Princípio da Superposição das Forças afirma que, quando múltiplas forças atuam sobre um objeto, a força resultante é a soma vetorial de todas as forças individuais. No caso de um movimento de subida em um plano inclinado, a Força Resultante (F) é dada pela soma da força paralela ao plano (P_x) e da força de atrito (F_{at}). Se o objeto estiver em movimento de subida, o atrito (F_{at}) age no sentido contrário à força aplicada para subir o plano, aumentando a força total necessária. A equação apresentada reflete essa superposição de forças:

$$F = P_x + F_{at} \quad (5)$$

A figura a seguir ilustra as forças que atuam sobre um objeto durante um movimento de subida em um plano inclinado.

FIGURA 1 – FORÇAS ATUANTES EM UM PLANO INCLINADO



Fonte: O Autor

- MANIPULADORES MECÂNICOS

Manipuladores mecânicos são um dos tipos mais importantes de robôs industriais. A principal distinção entre robôs industriais e outros dispositivos, como máquinas de usinagem com controle numérico, é a capacidade de programação: enquanto robôs podem ser programados para múltiplas tarefas, máquinas com automação fixa são limitadas a uma função específica. (CRAIG,2011)

O estudo dos manipuladores envolve várias áreas da engenharia. A engenharia mecânica aplica metodologias para estudar máquinas em situações estáticas e dinâmicas. A matemática é usada para descrever movimentos espaciais e outros atributos dos manipuladores, enquanto a teoria de controle fornece ferramentas para projetar algoritmos que permitem o movimento ou a aplicação de força desejados. Além disso, engenharia elétrica é usada no desenvolvimento de sensores e interfaces, e a ciência da computação é responsável pela programação dos robôs para realizar tarefas específicas. (CRAIG,2011)

A cinemática dos manipuladores trata do estudo do movimento, sem considerar as forças que o causam, analisando variáveis como posição, velocidade e aceleração. Os manipuladores são compostos por elos rígidos conectados por juntas, que permitem o movimento relativo entre os elos. As juntas rotacionais geram deslocamentos angulares, enquanto as juntas prismáticas

proporcionam deslocamentos lineares. A posição de cada elo é monitorada por sensores de posição. (CRAIG,2011)

O número de graus de liberdade de um manipulador refere-se ao número de variáveis independentes necessárias para determinar completamente a posição do sistema, o que define a complexidade e a flexibilidade do manipulador. (CRAIG,2011)

- SOLDAGEM MIG/MAG

Na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção (GMAW – *Gas Metal Arc Welding*), também chamada de soldagem MIG/MAG (MIG – *Metal Inert Gas* e MAG – *Metal Active Gas*), cria-se um arco elétrico entre a peça e um consumível em forma de arame. Esse arco derrete o arame continuamente enquanto ele é alimentado na poça de fusão. Durante o processo, o metal de solda é isolado da atmosfera por meio de um fluxo de gás (ou mistura de gases) que pode ser inerte ou ativo.(ESAB,2005)

O conceito de GMAW foi introduzido na década de 1920 e se tornou comercialmente viável após 1948, sendo inicialmente utilizado com gás inerte na soldagem de alumínio. Assim, o termo soldagem MIG foi o primeiro a ser empregado e ainda é associado ao processo. Com o tempo, o desenvolvimento do método incluiu o uso de correntes de baixa densidade, correntes pulsadas contínuas, aplicação em uma ampla variedade de materiais, e a adoção de gases de proteção reativos ou ativos (como o dióxido de carbono, CO₂) e misturas gasosas. Essas inovações levaram à adoção do termo GMAW para abranger o uso de gases tanto inertes quanto reativos. No entanto, quando gases reativos são usados, é comum denominar o processo como soldagem MAG (ESAB,2005).

Esse método utiliza corrente contínua (CC), geralmente com o arame conectado ao polo positivo, configuração conhecida como polaridade reversa. A polaridade direta é pouco utilizada, pois compromete a transferência do metal fundido do arame para a peça. As correntes de soldagem variam de 50 A a mais de 600 A, enquanto as tensões vão de 15 V a 32 V. Para garantir a estabilidade e autocorreção do arco elétrico, utiliza-se uma fonte de tensão constante combinada com um alimentador de arame de velocidade fixa. (ESAB,2005)

As melhorias contínuas no processo MIG/MAG permitiram sua aplicação na soldagem de praticamente todos os metais comercialmente relevantes, como aços, alumínio, aços inoxidáveis, cobre e outros. É possível soldar materiais com espessura superior a 0,76 mm em quase todas as posições. (ESAB,2005)

- PWM

Para ajustar a velocidade de rotação de um motor DC, pode-se utilizar o método conhecido como PWM (Pulse Width Modulation, ou Modulação por Largura de Pulso). Essa técnica consiste em alternar entre os estados de ligado e desligado do motor a uma frequência fixa, utilizando um dispositivo de chaveamento, geralmente um transistor (bipolar ou MOSFET). Dessa forma, a velocidade do motor é controlada pela proporção de tempo em que o motor permanece ligado em relação ao ciclo total da forma de onda, sendo essa proporção denominada Duty Cycle (Ciclo de Trabalho). Quando o Duty Cycle é multiplicado pela tensão de alimentação do motor, obtém-se uma tensão média, que pode ser interpretada como uma tensão DC equivalente, necessária para operar o motor na velocidade desejada. Caso a tensão média aplicada aos terminais do motor seja reduzida, a corrente média que circula pelo motor também será diminuída, conforme a variação do Duty Cycle (SILVA, 2018).

Frequências mais baixas de PWM podem gerar ruído audível e vibrações indesejadas devido a oscilações mecânicas do motor. Por outro lado, frequências mais altas ajudam a reduzir esses efeitos, mas podem limitar o aumento da corrente devido à indutância do motor, o que pode resultar em uma resposta não linear do torque. Assim, a escolha da frequência ideal depende de um equilíbrio entre linearidade, ruído e vibração, levando em consideração as características específicas da aplicação (PRECISION MICRODRIVES, 2024).

-ESP-32 E PROTOCOLO ESP-NOW

A necessidade de um microcontrolador para o robô E.O.D é fundamental para garantir o controle preciso, a automação de tarefas e a comunicação eficiente entre os diversos componentes do sistema. O microcontrolador atua como o cérebro do robô, processando informações, controlando motores, sensores e outros dispositivos eletrônicos essenciais para a operação.

O microcontrolador permite que o robô execute ações de forma autônoma ou em resposta a comandos de um operador remoto. Sendo a função do microcontrolador gerenciar e coordenar os sinais de controle entre os sistemas do robô, como os motores de movimento, o braço manipulador e os sistemas de comunicação. Sem um microcontrolador, a coordenação entre esses sistemas seria extremamente difícil e sujeita a falhas.

Para o projeto escolheu-se o ESP32 que é um microcontrolador poderoso e versátil. Equipado com um processador dual-core de até 240 MHz, 520 KB de RAM, 4 MB de memória flash interna e uma ampla gama de periféricos como UART, SPI, I2C e suporte para câmeras.

Sua flexibilidade em programação é um dos grandes destaques, permitindo o uso de linguagens como C/C++ e compatibilidade com ferramentas populares como a Arduino IDE e o ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework). Desenvolvido com foco em IoT, o ESP32 combina Wi-Fi e Bluetooth em um único chip, proporcionando conectividade híbrida para aplicações como automação residencial, dispositivos vestíveis, monitoramento remoto e soluções industriais. (ESPRESSIF SYSTEMS, 2024).

Outro aspecto essencial do microcontrolador é a comunicação. A comunicação sem fio é frequentemente necessária para operar o robô remotamente a uma distância segura do perigo. Isso envolve o uso de protocolos de comunicação, como o ESP-NOW que é um protocolo de comunicação Wi-Fi, também desenvolvido pela Espressif. Ele permite a transmissão de dados entre dispositivos Wi-Fi sem a necessidade de estabelecer uma conexão prévia. Esse protocolo encapsula os dados da aplicação em um quadro de ação específico do fornecedor e os transmite de um dispositivo Wi-Fi para outro, sem a necessidade de um ponto de acesso ou de conexão direta.

O ESP-NOW utiliza o protocolo CTR com CBC-MAC (CCMP) para proteger o quadro de ação, garantindo a segurança dos dados transmitidos. A taxa de transmissão padrão do ESP-NOW é de 1 Mbps, o que proporciona uma comunicação eficiente para aplicações de baixa largura de banda, como controle remoto, monitoramento de sensores e comunicação em sistemas de Internet das Coisas (IoT) (ESPRESSIF SYSTEMS, 2024). O protocolo CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), é responsável por garantir a confidencialidade, integridade e autenticação dos dados transmitidos entre dispositivos. (ESPRESSIF SYSTEMS, 2024)

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do protótipo do robô E.O.D é uma adaptação do procedimento descrito por Norton em "Projeto de Máquinas". Esta abordagem segue um processo estruturado que visa transformar uma ideia vaga em um produto final funcional e eficiente. A tabela 2 apresenta a metodologia desenvolvida para o projeto:

TABELA 2- Metodologia do projeto:

1	DEFINIÇÃO E ANÁLISE DOS REQUISITOS DO PROJETO
2	IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE
3	PESQUISA DE SUPORTE
4	ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO
5	PROJETO E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO
6	TESTES DE PERFORMANCE

Fonte: O Autor

3.1 DEFINIÇÃO E ANÁLISE DOS REQUISITOS DO PROJETO

O projeto de construção do robô E.O.D. buscou atender a exigências comerciais reais. Para isso, foi realizada uma pesquisa detalhada em documentos oficiais de aquisição de robôs desse tipo. Essa análise permitiu identificar as necessidades e requisitos que o projeto deve atender, garantindo que o robô não apenas seja funcional, mas também relevante para as operações de desativação de artefatos explosivos. Dessa forma, o desenvolvimento do robô se alinha com as demandas práticas do mercado, resultando em uma solução que busca efetivamente solucionar os desafios enfrentados pelas forças de segurança.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE:

Com base em diretrizes e especificações técnicas comumente observadas no mercado de aquisição de robôs E.O.D. ,definem-se as principais características consideradas para o desenvolvimento do protótipo,que incluem:

a) **Especificidade para Operações com Bombas:** Considerando a complexidade e os riscos associados às ocorrências com explosivos, o robô será desenvolvido especificamente para essas operações. O equipamento terá hardware reforçado para operar em diversas condições climáticas e terrenos e software avançado para a neutralização de ameaças explosivas.

b) **Necessidade de Robôs de Pequeno Porte:** Identificou-se a necessidade de robôs antibombas de pequeno porte (entre 70 kg e 110 kg), que oferecem praticidade no

transporte, agilidade nas manobras e capacidade de operar em locais estreitos ou de difícil acesso, como ônibus, aeronaves e edificações colapsadas.

c) **Adequação ao Ambiente e Logística:** Foram avaliados aspectos como tipo de solo e clima variados, transporte de equipamentos em viaturas policiais, armazenamento adequado, e compatibilidade com os veículos de transporte público, como ônibus, metrô e veículos de aplicativos.

d) **Necessidade dos Robôs serem equipados com câmeras:** O procedimento de localização, identificação e desativação de um artefato explosivo utilizando um Robô é extremamente complexo. Existe o risco de explosão a qualquer momento, o que pode acarretar em vítimas fatais. Durante esse processo o operador do Esquadrão de Bombas utiliza as câmeras do equipamento como meio de visualizar a ameaça, portanto a qualidade dessas imagens interfere diretamente no resultado da ocorrência.

e) **Necessidade dos Robôs serem equipados com braços robóticos:** Os Robôs antibombas protagonizam um papel importante num cenário com risco de bomba. É esse equipamento que fará a primeira aproximação do artefato e na maioria das vezes será ele quem irá remover e até desativar a possível ameaça.

3.3 PESQUISA DE SUPORTE

Durante a pesquisa de suporte, destacaram-se pontos importantes, como a escassez de robôs E.O.D. no território brasileiro. Além disso, observou-se que os esquadrões antibombas contam com robôs antigos e defasados, que apresentam falhas significativas, como problemas de comunicação e desgaste de componentes essenciais. Percebeu-se também que a maioria dos robôs utilizados possuem origem estrangeira. A isso se soma a dificuldade de manutenção desses robôs, que se deve a dois principais fatores: primeiramente, as peças são fabricadas em outros países, necessitando de importação; em segundo lugar, é necessária a formação de mão de obra especializada para realizar a manutenção específica desses equipamentos.

3.4 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

O projeto foi definido com base nas necessidades identificadas e na pesquisa de suporte, visando atender à três premissas, são elas:

- a) Capacidade Operativa: Garantir que o robô seja capaz de lidar com uma ampla gama de situações, ambiente e clima específicos do território nacional.
- b) Manutenção facilitada: garantir que a manutenção do projeto seja facilitada por meio do uso de peças de catálogo disponíveis no mercado brasileiro. Isso permitirá uma maior eficiência e agilidade na substituição de componentes, assegurando que o equipamento possa ser mantido em operação com mínimo tempo de inatividade e custos reduzidos.
- c) Baixo Custo: A utilização de componentes acessíveis combinada com estratégias de engenharia eficientes visa tornar o equipamento economicamente viável sem comprometer a qualidade e a funcionalidade, mesmo com recursos limitados.

3.4.1 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

A Tabela 3 apresenta as especificações técnicas desejadas no projeto, que foram construídas levando em consideração especificações reais e adaptando-as conforme as especificações do projeto

TABELA 3- ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

1	fabricação em alumínio ou aço de alta durabilidade e resistência
2	movido por esteiras- tipo 'lagarta' - de borracha de alta durabilidade
3	Seleção entre velocidades: lento, médio e de alta velocidade
4	Medidas: Comprimento no máximo 100cm (sistema na posição de transporte); Largura máxima de 60cm (sistema na posição de transporte); Altura máxima de 80cm (sistema na posição de transporte)
5	Peso máximo 110kg (configuração padrão com baterias);
6	Peso mínimo de 70kg (configuração padrão com baterias);
7	Mobilidade mínima: subir e descer escadas (degraus) de 45° (no mínimo), e declives de 30°(no mínimo), suportando uma carga mínima de 6Kg;
8	Capacidade de superar obstáculos de no mínimo 90° com altura mínima de 15cm
9	Capacidade de se locomover em diversos terrenos (arenoso, lamaçal, com vegetação, sobre detritos e entulhos, irregulares etc.) sem prejuízo ao seu desempenho;
10	Braço Manipulador de no mínimo 05(cinco) eixos; Rotação da torre de 360°; giro do pulso(garra) deverá ser infinito;
11	Capacidade de carga útil MÍNIMA de 06kg qualquer que seja posição do braço manipulador;
12	Deverá possuir câmeras coloridas
13	Sensor que permita verificar a distância entre a garra e o objeto;
14	deve poder comunicar-se continuamente com um relay de comunicação de RF móvel, através de uma rede tipo MESH ou outro tipo com a mesma qualidade para auxiliar as conexões em lugares que não possuem linha de visão, como edifícios, subterrâneos ou locais envoltos de concreto armado, ou para ampliar a distância em locais que não possuam linha de visão;
15	Deverá possuir dispositivo de controle portátil sem fio;

16	Autonomia mínima de 4(quatro) horas em plena capacidade
17	Deverá ser possível a substituição das baterias durante a operação sem desligar o Robô;
18	deve ser equipado com sensores de iluminação LED que possibilitem operação no escuro.
19	Deverá possuir alças que possibilitem o seu transporte por duas pessoas;
20	deverá ter a sua parte externa pintada predominantemente nas cores PRETA SEMIFOSCA ou “DESERT” / AREIA;

Fonte: O Autor

3.5 PROJETO E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

A partir deste ponto, serão discutidos aspectos específicos relacionados ao projeto e à construção do protótipo do robô E.O.D. Com base nos requisitos definidos anteriormente, o foco das próximas sessões é detalhar as etapas de desenvolvimento, desde a concepção inicial até a execução prática. Serão abordadas as escolhas de componentes, as estratégias de montagem, os desafios enfrentados e as soluções implementadas para garantir que o protótipo atenda às especificações técnicas e operacionais estabelecidas. Este processo visa demonstrar a teoria e como a mesma foi aplicada na construção do protótipo.

3.5.1 DESIGN GERAL

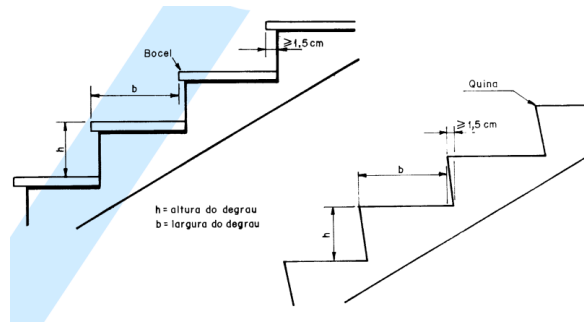
O design do robô E.O.D. foi desenvolvido levando em consideração diversas restrições e exigências operacionais. Um dos principais fatores foi respeitar as medidas máximas permitidas, garantindo que o robô fosse compacto o suficiente para ser transportado e operado em ambientes estreitos e de difícil acesso. Além disso, o design precisava acomodar todos os componentes internos, como motores e baterias, de forma segura e eficiente, assegurando que a plataforma fosse robusta e capaz de suportar o peso desses elementos sem comprometer o desempenho.

Uma questão inicial foi garantir que o robô pudesse superar obstáculos com altura mínima de 15 cm e ângulos de 90°. Outro fator crítico na tomada de decisões foi a capacidade de subir e descer escadas com inclinação mínima de 45°.

Para isso, optou-se por utilizar esteiras tipo lagarta com altura superior aos obstáculos e uma angulação entre a esteira e o solo na parte frontal. Dessa forma, quando o robô E.O.D. se posiciona em frente a um obstáculo ou ao primeiro degrau de uma escada, os motores fornecem a força necessária, e a angulação das esteiras permite a elevação do conjunto, possibilitando que o robô "escale" e ultrapasse essas barreiras.

No caso das escadas, com base na norma ABNT NBR 9077, que regulamenta as dimensões de escadas, os degraus devem seguir os seguintes parâmetros: a) altura (h) entre 16,0 cm e 18,0 cm, com tolerância de 0,05 cm; b) largura (b) dimensionada pela fórmula de Blondel: $63 \text{ cm} \leq (2h + b) \leq 64 \text{ cm}$ (ver Figura 2).

FIGURA 2 -Altura e largura do degrau (escada com e sem bocel)



FONTE: ABNT. **NBR 9077:2001 - Saídas de Emergência em Edifícios**, p. X. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.

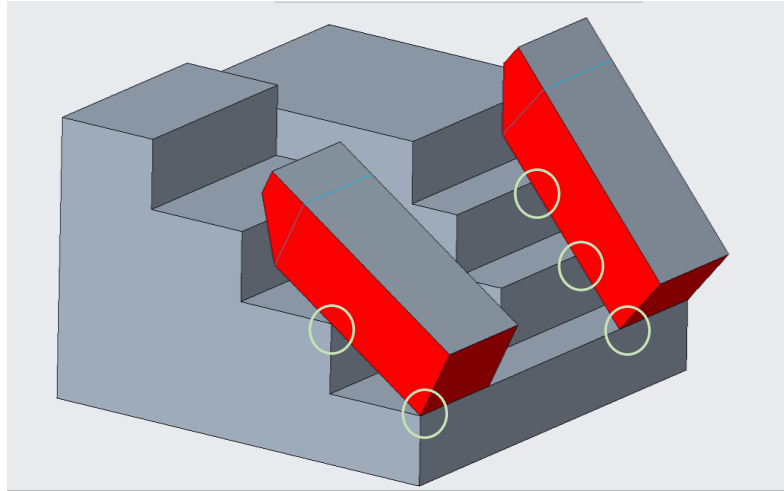
Um cenário desafiador para o robô seria enfrentar escadas com piso de 32 cm e espelho de 18 cm. Embora o ângulo de subida seja próximo a 30°, a maior distância entre as quinas dos degraus dificultaria a tração e a movimentação adequada. Outro desafio seriam escadas com angulação de 45°, que, apesar de não estarem dentro dos padrões normativos, são comuns no Brasil. A presença de escadas com variadas dimensões, muitas vezes fora das especificações, torna a adaptação do robô ainda mais complexa para operar eficientemente em diferentes ambientes.

Para enfrentar esse desafio, foi adotado um sistema de suspensão independente nas esteiras, ajudando a dissipar a energia causada por impactos e aumentando o comprimento das mesmas, de modo que o robô mantivesse, no mínimo, dois pontos de apoio ao subir escadas. O objetivo é obter a tração necessária para superar os degraus, reduzindo a oscilação da angulação durante a subida.

Com esses fatores em mente, definiu-se que a superfície de contato da esteira com o solo deve ter 60 cm. A figura 3 ilustra escadas com inclinações de 30° e degraus mais afastados (à esquerda) e escadas de 45° (à direita), permitindo uma análise visual do comportamento do robô durante a subida. Destacam-se, circulados na figura, os pontos de apoio obtidos durante o movimento. A figura também ajuda a entender a importância de um centro de massa adequado para o robô, evidenciando a distribuição do peso dos motores, baterias e do braço manipulador. O braço manipulador será posicionado na parte superior frontal do robô e, durante o movimento

de subida ou descida em escadas, poderá se estender em diversas posições, ajudando a equilibrar o centro de massa.

FIGURA 3 – Representação da subida do robo E.O.D em escadas de diferentes angulações, com destaque para os pontos de apoio entre os degraus.



Fonte: O Autor.

3.5.2 CHASSIS

Para o chassi, apesar de o Alumínio aeronáutico(7075) ser ideal para construção do robô devido às suas propriedades de leveza, resistência e durabilidade; o custo de aquisição e a necessidade de usinagem trazem uma dificuldade, principalmente caso seja necessário alguma mudança estrutural posterior. Sendo assim, optou-se por fabricar o chassi utilizando cantoneiras de aço, estruturadas com abas de tamanhos iguais em um ângulo reto, que apresentam alta durabilidade e resistência à flexão, nas medidas 1" x 3/16" (25,40 mm x 4,75 mm), e o processo de soldagem MIG na união das mesmas.

3.5.2.1 Modelagem 3D e Análise estrutural

Inicialmente construiu-se o modelo 3D no software CREO PARAMETRIC 6.0, onde também realizou-se simulações do modelo através do módulo de análise de elementos finitos (FEA, do inglês Finite Element Analysis) dentro do software. Tal módulo é voltado para simulações estruturais, permitindo realizar simulações de estresse, tensão, deformação e outros tipos de análises para verificar o desempenho e a resistência de peças e dos conjuntos projetados em ambientes virtuais, antes de construir protótipos físicos.

O software permite definir materiais realistas, como aço, alumínio e plásticos, com propriedades específicas, como módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, para obter simulações mais precisas. Também é possível definir condições de contorno detalhadas, incluindo restrições de movimento e tipos de carregamento, que representam o ambiente de uso real.

A qualidade da simulação depende da criação de uma malha de elementos finitos, composta por pequenos volumes ou áreas que aproximam o comportamento do modelo.

As cargas foram aplicadas levando em consideração o peso dos componentes principais do sistema e as principais forças atuantes. Aplicou-se cargas de acordo com o peso dos motores, posicionados em seus respectivos suportes, bem como o peso das baterias e dos componentes eletrônicos, alocados nos locais projetados para esses itens. A carga aplicada nos locais de apoio dos rolamentos dos eixos de suporte das esteiras foi estipulada com base no peso das esteiras, considerando a distribuição de carga ao longo dos eixos.

Além disso, estipulou-se a força exercida nos quatro furos de fixação do suporte do braço manipulador, considerando um comprimento do braço de 1,8 metros, com uma carga útil de 6 kg.

As restrições de movimento foram aplicadas nos locais de apoio dos elementos da suspensão, representando os pontos de apoio do chassi, onde as peças entram em contato com outros componentes ou superfícies.

A figura 4 mostra o modelo 3D em ambiente de simulação, já com as cargas, restrições e material atribuídos ao modelo e ao lado apresenta-se o chassi em etapa de construção.

FIGURA 4-modelo 3D do chassi (à esquerda) e chassi durante sua construção(direita)



Fonte: O Autor

Destacam-se duas análises realizadas:

a)Análise de Estresse e Tensão

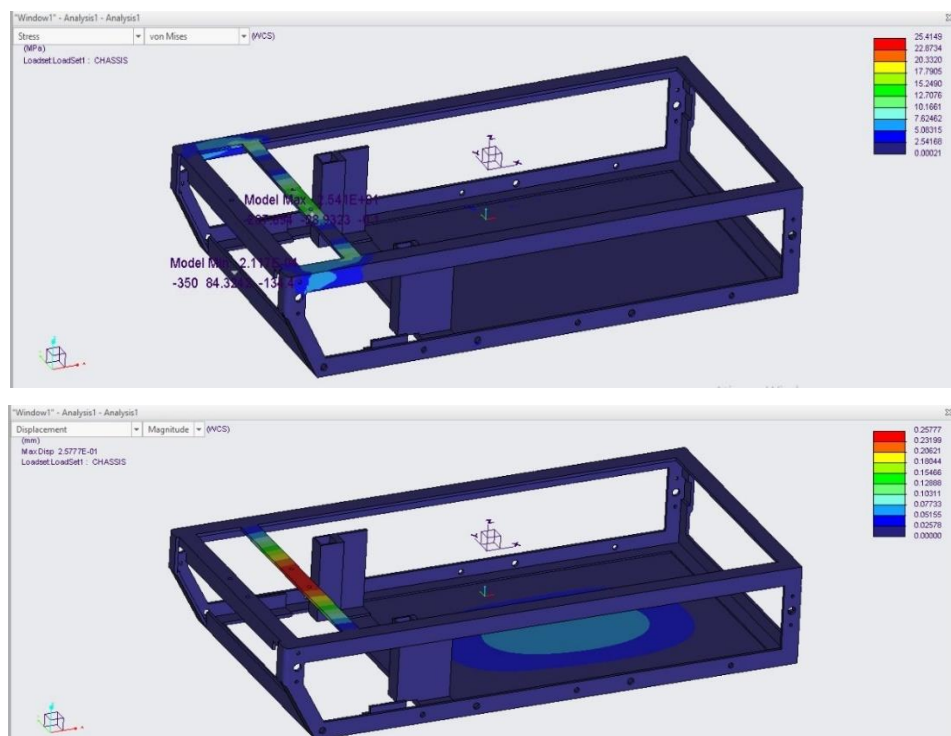
Esse tipo de análise calcula a distribuição de tensões (como tensões normais e de cisalhamento) ao longo de uma peça submetida a diferentes cargas, como forças, pressão, torque e peso próprio. Com essa análise, é possível identificar regiões de alta tensão onde o material pode falhar, permitindo a otimização do projeto para maior segurança e durabilidade.

b)Análise de Deformação

O Creo Simulate permite observar a deformação que uma peça sofre sob cargas específicas, o que é crucial para verificar se a peça se comportará como esperado em uso. Isso possibilita identificar deformações permanentes indesejadas e ajustar a geometria ou o material da peça para otimização.

Os resultados são apresentados na Figura 5, com a análise de estresse e tensão exibida na parte superior e a análise de deformação na parte inferior.

FIGURA 5 - Análises do Modelo



Fonte: O Autor

Os resultados das análises foram positivos, indicando que o material selecionado para a construção do chassi suportará as cargas e condições de uso previstas. A análise de estresse e

tensão mostrou que o material escolhido distribui bem as tensões, enquanto a análise de deformação confirmou que a estrutura permanecerá dentro dos limites seguros de deformação, garantindo resistência e durabilidade ao chassi.

Os pontos preocupantes identificados nas análises serão reforçados durante a fabricação, garantindo que o chassi tenha a resistência necessária para suportar as condições mais exigentes. Com esses reforços, espera-se otimizar ainda mais a segurança e a durabilidade da estrutura, atendendo aos requisitos de desempenho com maior eficiência.

Para permitir o transporte do robô E.O.D por duas pessoas,fixou-se ao chassis quatro manípulos tipo CAN (Cabo Alça Nylon) 133 utilizando parafusos Phillips Cabeça Panela M8 X 20mm e porcas sextavadas M8.

De acordo com o fabricante, as alças padrão CAN 133 ,que são fabricados em Nylon / Poliamida reforçada com fibra de vidro, possuem resistência ao içamento de carga entre 503 kgf e 560 kgf. Dessa forma, ao utilizar um conjunto de quatro alças CAN 133 fixadas ao chassis, o componente é capaz de suportar o peso total do robô, com uma margem de segurança considerável. Sendo assim uma solução eficaz devido ao baixo custo,baixo peso e excelente robustez.

Para a pintura do chassis do robô E.O.D foi utilizada uma camada de Wash Primer Fundo Fosfatizante Preto Fosco Vinílico e, posteriormente, uma camada de Verniz Poliuretano. Nas chapas de alumínio xadrez, as mesmas apresentam um padrão em alto relevo, o que aumenta a resistência estrutural. Além disso, foi aplicado emborrachamento Batida de Pedra, um revestimento que proporciona maior rugosidade à superfície.

O objetivo dessa escolha de materiais e técnicas foi aumentar a rugosidade da superfície para melhorar a resistência às ondas de choque e lançamento de detritos em caso de explosão nas proximidades. A textura criada pelo emborrachamento ajuda a dispersar a energia, reduzindo o impacto direto sobre o robô e aumentando a proteção dos componentes internos.

3.5.3 DIMENSIONAMENTO DOS MOTORES DAS ESTEIRAS

O dimensionamento dos motores das esteiras para o robô E.O.D. foi feito com base nas características dos motores MY1016Z, que possuem uma redução de velocidade e são amplamente utilizados em cadeiras de rodas elétricas,onde ,de acordo com o fabricante, esses motores são capazes de transportar um peso total de aproximadamente 120 kg e podem atingir velocidades próximas a 6 km/h (conforme ANEXO A).

Essas especificações atendem bem aos requisitos do projeto, já que a massa máxima estimada para o robô é de 100 kg, e a velocidade alvo também é em torno de 5 km/h.

Para determinar se tais motores têm força suficiente para subir escadas, realizou-se o cálculo com base na segunda lei de Newton e na decomposição das forças atuantes durante o movimento em um plano inclinado.

Para os cálculos considerou-se também o atrito entre as esteiras de borracha e a superfície de contato, como o asfalto ou cimento de acordo com a TABELA 4.

TABELA 4 – Coeficientes de atrito

Materiais em contacto	Condição	Coeficiente de atrito estático	Coeficiente de atrito cinético
Borracha / Aço	Seco	0,6 – 0,9	0,3 – 0,6
Borracha / Asfalto	Seco	0,7 – 0,9	0,5 – 0,8
Borracha / Asfalto	Molhado	–	0,25 – 0,75
Borracha / Borracha	Seco	–	1,16
Borracha / Cartão	Seco	0,5 – 0,8	–
Borracha / Cimento	Seco	1,0	0,6 – 0,85 – 1,02
Borracha / Cimento	Molhado	0,30 – 0,62 – 0,70	0,45 – 0,75
Borracha / Metal	Seco	1,0	–

Fonte: adaptado de CT Borracha (2024).

Dados iniciais:

- Massa (robô + carga): $m = 110\text{kg}$ (máximo estipulado)
- Ângulo máximo de subida: $\theta = 45^\circ$
- Gravidade: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Coeficiente de atrito estático (pior caso: borracha e cimento): $\mu_e = 1,0$

Sabemos que a Força Normal (N) é definida pela equação 1, substituindo os valores:

$$N = 60 \cdot 9,81 \cdot \cos(45^\circ) = 566,875\text{N} \quad (1.1)$$

Sabemos que a Força de Atrito estático (Fat) é definida pela equação 2, substituindo os valores:

$$\text{Fat}_e = 1,0 \cdot 566,875 = 566,875 \text{ N} \quad (2.1)$$

A Força Paralela ao Plano Inclinado (Px) é definida pela equação 4, substituindo os valores:

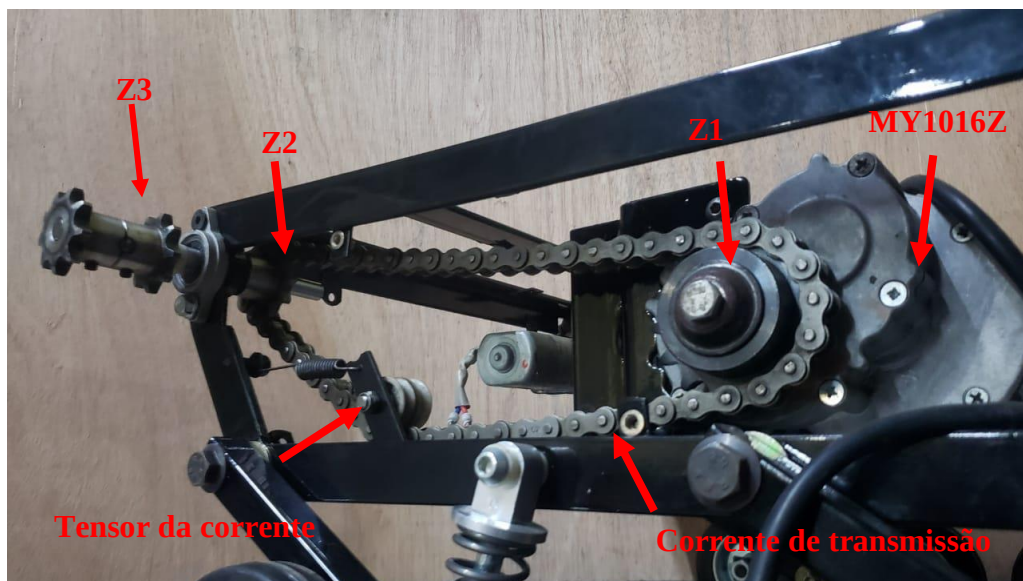
$$P_x = 110 \cdot 9,81 \cdot \sin(45^\circ) = 918,21 \text{ N} \quad (4.1)$$

Logo, a Força Resultante (F), definida pela equação 5, substituindo os valores (2.1 e 4.1 em 5):

$$F = 918,21 + 566,875 = 1485,085 \text{ N} \quad (5.1)$$

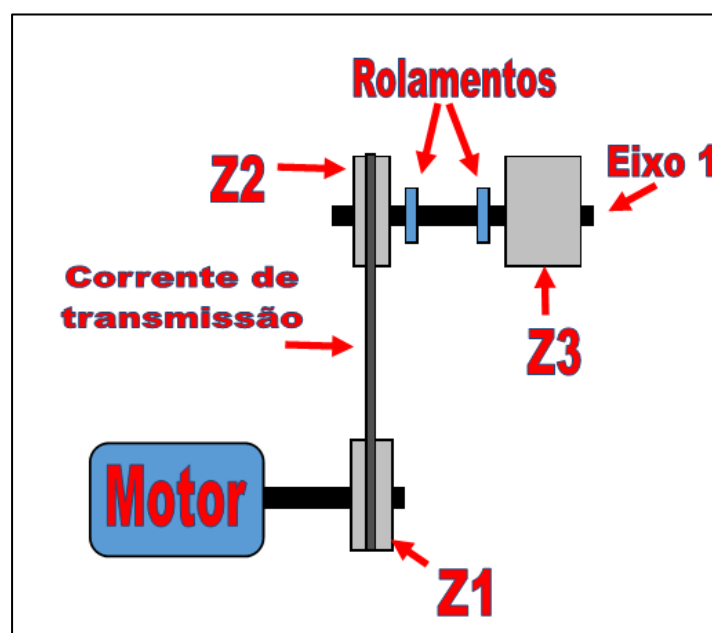
Sabendo a força teórica necessária, fez se o cálculo da força fornecida pelos motores na configuração montada, que conta com uma série de engrenagens e correntes, como pode ser verificado na Imagem 1 e sua representação na Figura 6.

IMAGEM 1 – Motor e sistema de transmissão do Robo E.O.D



Fonte: O Autor

FIGURA 6 – Representação do sistema de transmissão do robô



Fonte: O Autor

Dados:

- Potência do motor MY1016Z: $P=250 \text{ W}$
- RPM do motor MY1016Z : $RPM1 = 75 \text{ RPM}$
- Eficiência total estimada: $\eta = 70\% = 0,7$
- Rendimento de transmissão por corrente = $98\% = 0,98$
- Rendimento Par de rolamentos = $98\% = 0,98$
- $Z1 = 16$ dentes
- $Z2 = 9$ dentes
- $Z3 = Z2$
- Diâmetro primitivo $Z3 = 32 \text{ mm}$, Raio = $0,016 \text{ m}$

A Potência útil no eixo 1 ($Pu1$) é definida por :

$$Pu1 = P \cdot \eta = 250 \cdot 0,7 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 168,07 \text{ W} \quad (6)$$

O RPM no eixo 1 ($RPM2$) é definido por:

$$\frac{RPM1}{RPM2} = \frac{Z2}{Z1} \quad \therefore \quad RPM2 = 75 \cdot \frac{16}{9} = 133,3 \text{ RPM} \quad (7)$$

O Torque no eixo 1 (T) é definido por:

$$T = \frac{Pu1}{\omega} \quad (8)$$

$$\text{onde } \omega = \frac{2\pi \cdot RPM2}{60} \cong 13,96 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (9)$$

Substituindo (8) em (7):

$$T = \frac{168,07}{13,96} \cong 12,04 \text{ N.m} \quad (10)$$

A força obtida na engrenagem $Z3$:

$$F = \frac{T}{R} = \frac{12,04}{0,016} = 752,5 \text{ N} \quad (11)$$

Logo a força produzida pelos dois motores será de 1505 N ,sendo esta maior que a força resultante ($1485,085 \text{ N}$) calculada para subida em um plano inclinado. Indicando que o robô deve superar a subida. A margem entre os dois valores, no entanto, é pequena. Durante outras etapas da construção, buscou-se manter o robô E.O.D próximo ao seu peso mínimo estipulado (70 kg) para maximizar a relação peso-potência e aumentar essa margem de segurança.

3.5.4 ESTEIRAS DE TRAÇÃO E SUSPENSÃO

As esteiras, comumente chamadas de lagartas, tem o objetivo de distribuir o peso do robô de forma mais eficiente sobre uma área maior de contato com o solo, o que permite maior tração e estabilidade, mesmo em superfícies irregulares ou difíceis de transitar.

Utilizou-se correntes tipo ASA 40/1 K1 com abas, escolhidas por possuírem o mesmo passo das engrenagens, e suporte para fixação de elementos. As correntes foram interligadas por barras de alumínio BC016 (19,05 mm x 4,76 mm), que funcionam como o suporte estrutural das esteiras. Essas barras são fixadas utilizando Parafusos Allen de Aço Liga com Cabeça Abaulada, de tamanho M3 x 6, proporcionando uma montagem segura e robusta para garantir a resistência das esteiras, mesmo em condições adversas.

Além disso, para melhorar a aderência e aumentar a tração em diferentes tipos de solo, uma manta de borracha de 2,4 mm foi adicionada na área de contato das esteiras com o solo. Essa manta de borracha atua como uma camada de fricção, oferecendo maior aderência ao solo, o que é essencial para evitar escorregamentos e otimizar a performance do robô em terrenos irregulares ou escorregadios, além de proteger as superfícies por onde o robô passa.

A suspensão utiliza um amortecedor de 110mm em liga de Alumínio para cada par de rodas, auxiliando no amortecimento de impactos e na absorção das irregularidades do solo, garantindo que o robô mantenha a estabilidade e o controle durante a movimentação.

As rodas possuem diâmetro de 100mm, sendo fabricadas em aço e borracha, possuem capacidade de carga de 60 Kg cada e são utilizadas como guias, para evitar que a corrente se desvie durante o movimento, garantindo que as mesmas mantenham-se centralizadas.

3.5.5 BRAÇO MANIPULADOR

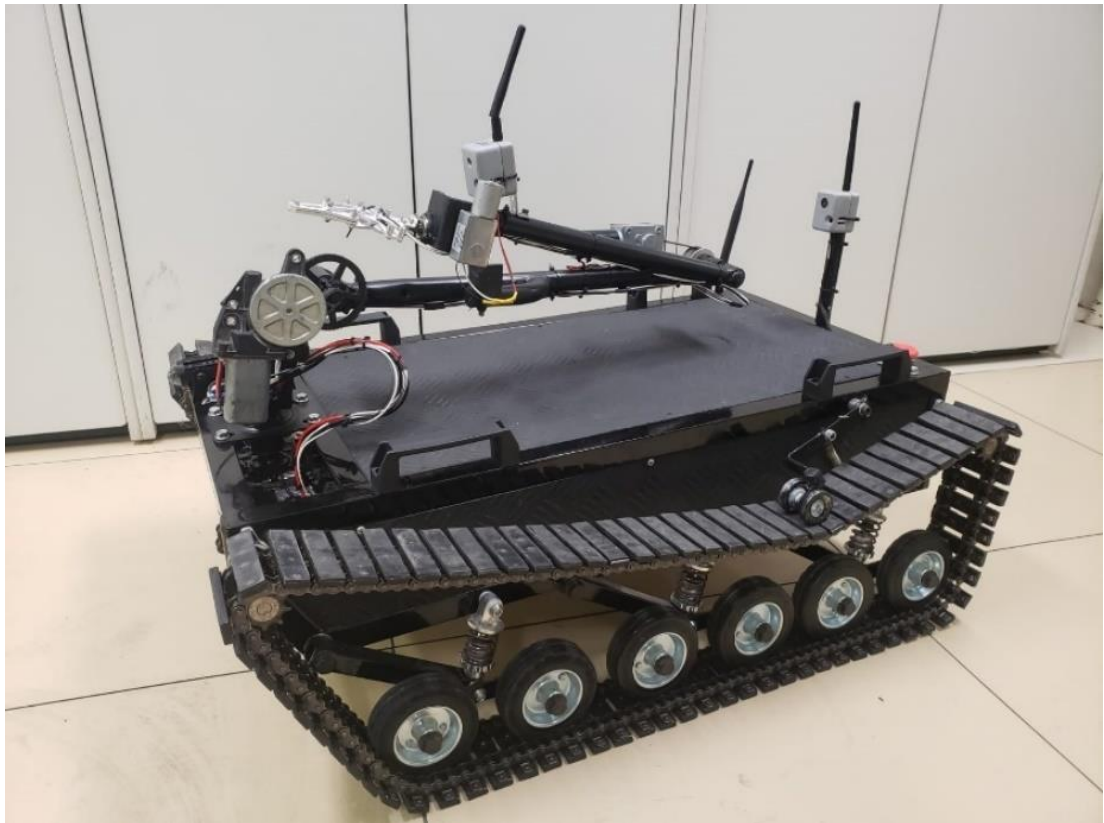
Durante o desenvolvimento do braço manipulador para o robô E.O.D, inicialmente, a ideia era utilizar um design mais sofisticado, com tubos de alumínio para os links e juntas feitas de aço, com eixos de 10 mm e rolamentos, visando uma maior durabilidade e resistência com peso moderado. Além disso, planejava-se utilizar motores de passo para garantir maior precisão e controle dos movimentos do braço. Chegou-se a projetar esboços do braço nesta configuração, no entanto, ao avaliar o tempo e o custo envolvidos na construção desse modelo, percebeu-se que demandaria um investimento significativo em termos de recursos financeiros e tempo de fabricação. Como alternativa, optou-se por uma

solução mais simples, utilizando materiais disponíveis, o que permitiu equilibrar as necessidades de desempenho com a viabilidade de produção.

O braço construído para o robô E.O.D, em sua versão atual, serve principalmente como um demonstrativo e suporte para câmeras e complementos. Embora seja funcional para essas finalidades, ele não possui a robustez planejada no projeto inicial, que visava uma estrutura mais resistente e capaz de suportar cargas maiores. A simplificação no design permitiu a construção de um protótipo viável para testes e demonstrações, mas com limitações em termos de resistência e durabilidade para aplicações mais exigentes.

A imagem 2 mostra a montagem final do robô com o braço manipulador acoplado:

IMAGEM 2 – MONTAGEM FINAL DO ROBÔ E.O.D.



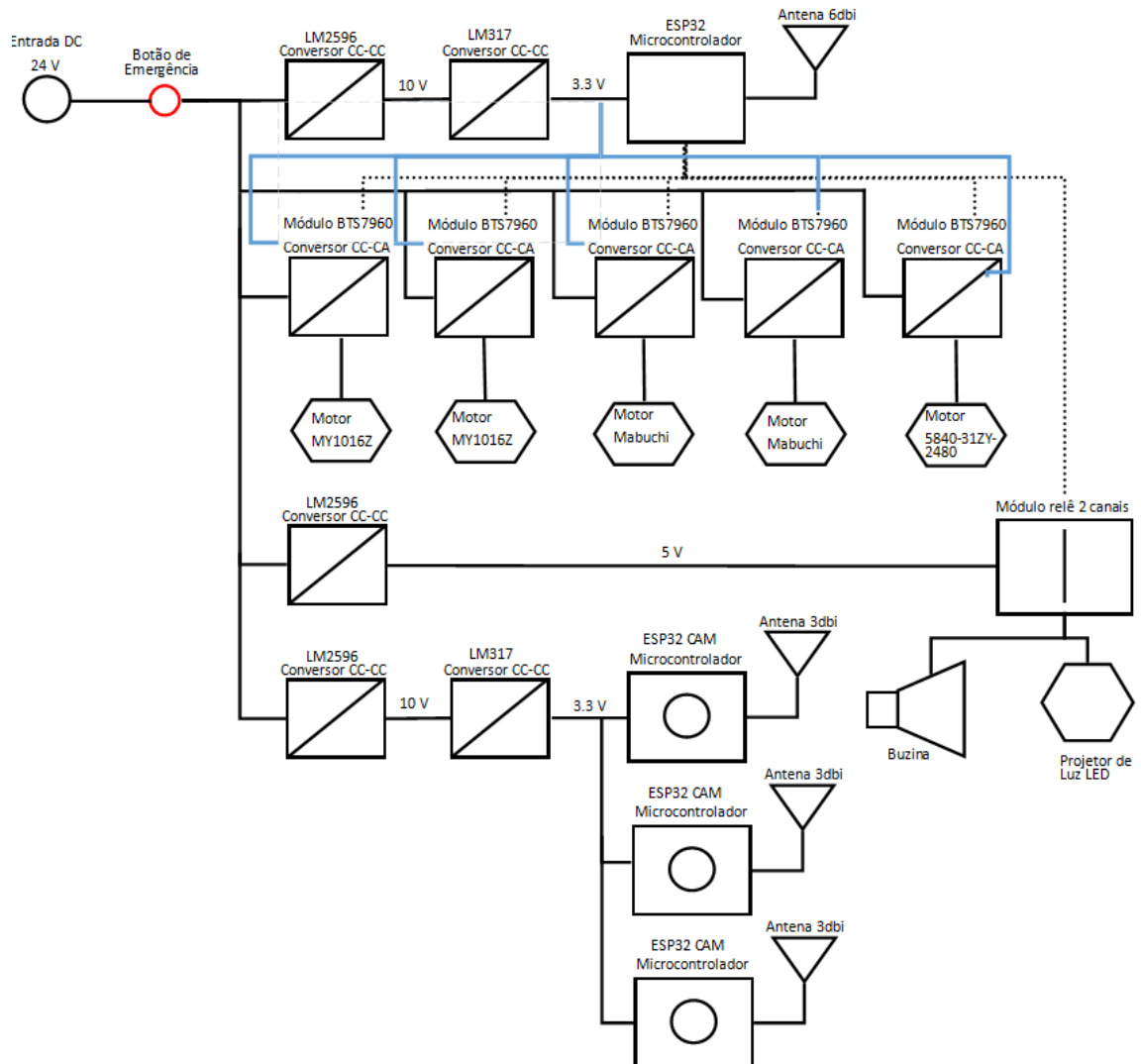
Fonte: O Autor.

3.5.6 DIAGRAMA ELÉTRICO DO ROBÔ E.O.D.

O circuito elétrico do robô E.O.D. é estruturado para fornecer energia e controle aos diversos módulos e dispositivos, sendo alimentado por uma tensão de 24V. A figura abaixo

apresenta um diagrama de blocos elétrico para visualização de como cada componente se interconecta:

FIGURA 7 – DIAGRAMA ELÉTRICO DE BLOCOS



Fonte: O Autor

A alimentação principal é de 24V, que é convertida para diferentes níveis de tensão conforme a necessidade dos componentes. Um botão de emergência é integrado ao circuito, permitindo a interrupção imediata da energia em caso de necessidade. Ele é colocado em série com a fonte principal de 24V para interromper a alimentação de todo o sistema em uma situação de emergência.

Um primeiro conjunto de conversores composto por um módulo regulador de tensão step down DC-DC LM2596 reduz a tensão de 24V para 10V. Em seguida, um módulo regulador de

tensão step down DC-DC LM317 reduz essa tensão de 10V para 3.3V, alimentando o microcontrolador ESP32 WROVER 32U. Este por sua vez é responsável por enviar sinais de controle para cinco módulos BTS7960, que são responsáveis pelo controle dos motores. Cada módulo BTS7960 controla um motor individualmente. O ESP32 é conectado a uma antena de 6 dBi para melhorar o alcance do sinal.

Um segundo conjunto de LM2596 e LM317 também reduz a tensão de 24V para 3.3V, alimentando três módulos ESP32-CAM. Cada um dos ESP32-CAM possui uma câmera OV2640 e está conectado a uma antena de 3 dBi, que melhora o alcance de transmissão de vídeo.

Um terceiro LM2596 reduz a tensão de 24V para 5V, alimentando um módulo de relé de 2 canais com optoacopladores. Esse módulo recebe sinais de controle de 3.3V do ESP32 e aciona uma buzina e um projetor de luz LED fornecendo iluminação e alertas e sonoros quando necessário.

No design do circuito elétrico, além da distribuição de tensão, foi essencial considerar a amperagem (corrente) necessária para o funcionamento adequado e seguro de cada componente. Uma corrente insuficiente pode resultar em mau funcionamento, enquanto uma corrente excessiva pode causar superaquecimento e danos.

Para assegurar que todos os componentes operem dentro dos limites seguros, foram consultados e analisados os datasheets de cada componente, garantindo que o projeto respeite as especificações de corrente máxima e mínima para cada um deles. Esse cuidado permitiu configurar os conversores de tensão e demais dispositivos de acordo com os parâmetros recomendados, preservando a integridade do circuito e garantindo a eficiência energética do sistema.

A potência dissipada pelos reguladores LM2596 e LM317, depende das diferenças de tensão entre entrada e saída e das correntes que passam pelos reguladores. Sendo o LM2596 um regulador de comutação que possui alta eficiência, geralmente entre 75% a 90%, dependendo da carga. Já o LM317 é um regulador linear, e sua potência dissipada depende diretamente da diferença de tensão entre a entrada e a saída, multiplicada pela corrente que flui através dele. Os cálculos de potência dissipada por cada um são mostrados abaixo:

a) Potência dissipada no LM2596:

$$P_{dissipada} = P_{entrada} \times (1 - \eta) \quad (12)$$

η é a eficiência do regulador. Considerando eficiência típica de 85%

Onde:

$$P_{entrada} = V_{entrada} \times I_{carga} \quad (13)$$

Como estes conversores trabalham uma redução de 24 V para 10V e supondo um consumo máximo de 2 A :

$$P_{entrada} = 24 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 48 \text{ W} \quad (13.1)$$

Logo,(12.1 em 11):

$$P_{dissipada} = 48 \text{ W} \times (1 - 0,85) = 7,2 \text{ W} \quad (12.1)$$

b) Potência dissipada no LM317:

$$P_{dissipada} = (V_{entrada} - V_{saída})I_{carga} \quad (14)$$

Como estes conversores trabalham com uma redução de 10 V para 3.3 e supondo um consumo máximo de 2 A:

$$P_{dissipada} = (10 \text{ V} - 3.3 \text{ V}) \times 2 \text{ A} = 13.4 \text{ W} \quad (14.1)$$

O valor máximo de potência dissipada especificada pelo fabricante é de 20 W, que é o limite absoluto que o regulador pode suportar em condições ideais.

O LM2596, demonstrou-se uma escolha eficiente para aplicações onde há uma diferença significativa de tensão entre entrada e saída, com características que o tornam ideal para converter a tensão de 24V para 10V, mantendo o consumo energético sob controle.

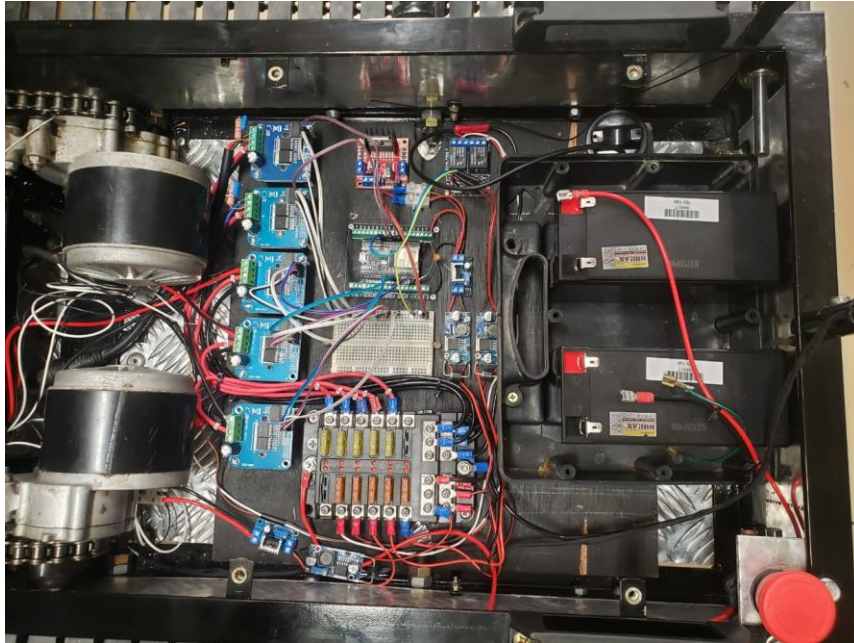
Por outro lado, o LM317, utilizado para reduzir a tensão de 10V para 3.3V, apresenta uma dissipação de potência diretamente proporcional à diferença de tensão e corrente. Com uma dissipação calculada em 13,4W, ele permanece dentro do limite máximo especificado de 20W, mas exige atenção especial à dissipação térmica, como o uso de dissipadores de calor adequados, para garantir a segurança e a durabilidade do componente.

Para aumentar a segurança e a proteção do circuito, incluiu-se um porta-fusíveis posicionado próximo à fonte de alimentação principal de 24V para proteger todo o sistema contra sobrecargas de corrente e curto-circuitos.

Esse componente permite que um fusível adequado seja facilmente instalado e substituído, proporcionando uma camada extra de segurança. Com isso, caso a corrente exceda o limite seguro especificado pelos datasheets dos componentes, o fusível interrompe automaticamente o fluxo de energia, evitando danos permanentes aos módulos, motores e demais dispositivos. Essa adição reforça a robustez do circuito, alinhando-se com as

especificações de corrente e com os parâmetros de proteção estabelecidos. A imagem 3 mostra o circuito elétrico do robô E.O.D:

IMAGEM 3 – CIRCUITO ELÉTRICO DO ROBÔ E.O.D.



Fonte: O Autor

3.5.7 DIMENSIONAMENTO DAS BATERIAS

Para o dimensionamento das baterias do sistema, foi necessário realizar cálculos com base nas especificações do projeto, considerando a autonomia mínima de 4 horas em plena capacidade. Abaixo, apresenta-se os cálculos realizados para determinar a capacidade necessária das baterias, levando em consideração a carga total do sistema, a eficiência dos conversores de tensão e potência dos motores:

DADOS:

- Potência do Motor: 250W – total de 500W para 2 motores
- Potência para o circuito de controle: 25W
- Horas em uso contínuo planejada: 4 Horas
- Tensão: 24V

A energia necessária em Wh (Watts-hora) é dada pela soma da potência consumida durante o funcionamento, considerando os diferentes componentes do sistema, multiplicada pelo tempo de uso:

$$E = (500 W + 25 W) * 4 h = 2100 Wh \quad (15)$$

A capacidade das baterias é classificada em Ah (Amper-hora), logo podemos convertê-la de watt-hora usando a seguinte relação:

$$Capacidade (Ah) = \frac{2100 Wh}{24 V} = 87,5 Ah \quad (16)$$

As baterias utilizadas serão de Chumbo-Ácido, onde as mesmas possuem eficiência de 85%, logo a capacidade deverá ser:

$$Capacidade = \frac{87,5 Ah}{0,85} = 102,94 Ah \quad (17)$$

Adicionando uma reserva de 5% :

$$Capacidade final = 102,94 \times (1 + 0,05) = 108,09 Ah \quad (18)$$

Comercialmente, uma opção encontrada seria o uso de duas baterias de 24 V e 55 Ah conectadas em paralelo, obtendo-se assim um total de 110 Ah, o que garantiria a operação do conjunto pelas 4 horas estipuladas. No momento da realização deste trabalho, baterias desse tipo são encontradas por um valor de R\$ 725,00 cada. Devido ao alto custo, tomou-se a decisão de utilizar quatro baterias de 12V e 7Ah em uma conexão série-paralelo, de forma a obter 24V e 14 Ah, o que possibilitaria a realização dos testes necessários no robô. O cálculo do tempo de uso obtido nesta configuração é descrito abaixo:

Com base na equação $P = V \times I$, onde P é a potência, V é a tensão e I é a corrente que queremos encontrar, a equação pode ser rearranjada para calcular I , logo:

$$I = \frac{525W}{24V} = 21,875 A \quad (19)$$

Sabendo a corrente necessária, pode-se calcular o tempo de uso das baterias pela equação:

$$Tempo de uso = \frac{Capacidade da bateria (Ah)}{Corrente consumida (A)} \quad (20)$$

Substituindo os valores:

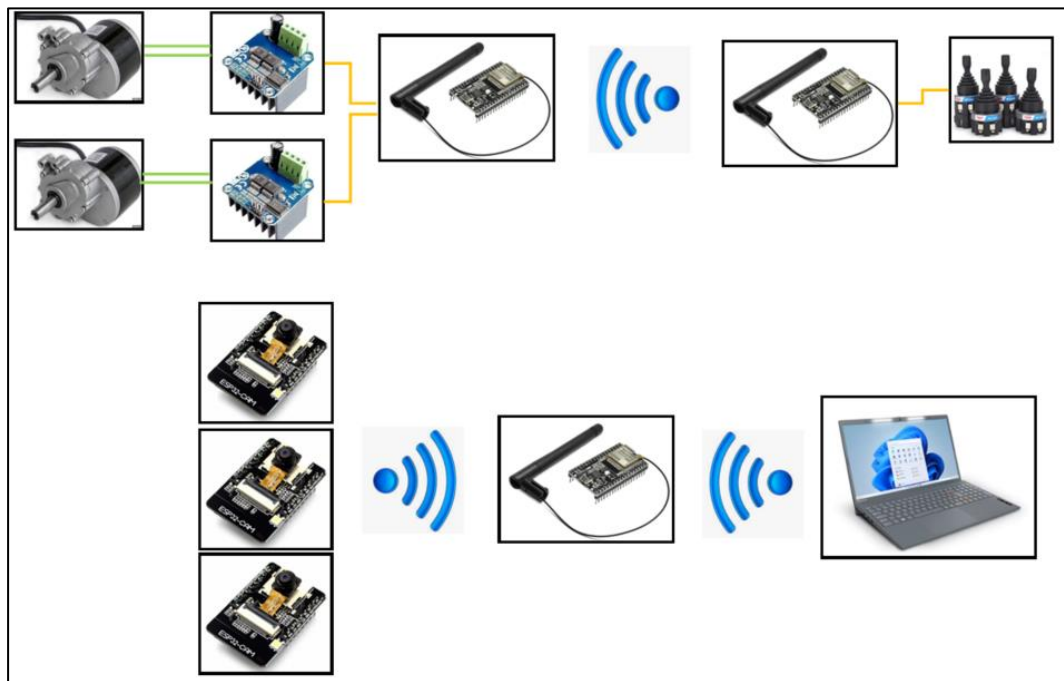
$$Tempo de uso = \frac{14 Ah}{21,875} \approx 0,64h \quad (20.1)$$

Ou seja, o tempo de uso será aproximadamente 0,64 horas, o que equivale a 38,4 minutos.

3.5.8 COMUNICAÇÃO E TRANSMISSÃO DE DADOS

No sistema projetado, a transmissão de dados foi separada em duas categorias principais: o controle e a transmissão de imagens. A figura 8 é um exemplo que demonstra a configuração deste sistema.

FIGURA 8 – exemplo do modelo de comunicação utilizado no robô



Fonte: O Autor

Para a transmissão de imagens, foram utilizados módulos ESP32-CAM, que são dispositivos com capacidade de captura de vídeo e imagem, além de conectividade Wi-Fi. O processo foi organizado da seguinte forma:

1. Transmissão de Imagens:

Os módulos ESP32-CAM são responsáveis pelo streaming de vídeo. Cada um desses módulos envia suas imagens para um dispositivo central, que é um ESP32 configurado para atuar como Access Point (AP). Este dispositivo centraliza as conexões e encaminha os dados para um notebook. Permitindo que os dispositivos se conectem diretamente a essa rede sem a necessidade de uma infraestrutura externa de Wi-Fi.

O streaming de vídeo gerado pelas câmeras pode ser acessado através de uma página web HTTP. O ESP32, ao atuar como servidor web, fornece uma interface acessível via navegador

no notebook. Ao acessar a página no navegador do notebook, o usuário pode visualizar o streaming de vídeo ao vivo proveniente das câmeras ESP32-CAM.

A página web é criada utilizando recursos de desenvolvimento, incluindo o auxílio de inteligência artificial generativa, que facilita a criação e o design dinâmico da interface, tornando a experiência de acesso ao vídeo mais intuitiva e funcional.

2. Controle de Ações:

A transmissão dos sinais de controle é realizada separadamente, utilizando o protocolo ESP-NOW, que permite a comunicação direta entre os dispositivos ESP32 sem a necessidade de um roteador central. Isso facilita a comunicação entre o ESP32 e outros dispositivos, como módulos de controle de motores ou atuadores, de forma rápida e eficiente, sem sobrecarregar a rede dedicada à transmissão de imagens.

Essa separação das funções de controle e transmissão de imagens oferece uma maior eficiência no gerenciamento da largura de banda da rede, já que a comunicação de controle é normalmente menos intensiva em termos de dados, enquanto a transmissão de imagens requer maior largura de banda. Além disso, ao utilizar ESP-NOW para os controles, garante-se que os sinais de controle possam ser transmitidos com maior confiabilidade e sem interferências da rede Wi-Fi utilizada para as imagens.

Com essa estrutura, o sistema é otimizado tanto para comunicação de dados críticos, como os controles, quanto para a transmissão de imagens de alta demanda, mantendo uma boa performance e confiabilidade.

3.5.8.1 PROGRAMAÇÃO DOS MICROCONTROLADORES

Ao todo, quatro códigos de programação distintos foram desenvolvidos utilizando a interface Arduino IDE, cada um com uma função específica para o controle e operação do sistema de robô. Os códigos foram desenvolvidos utilizando bibliotecas pré-existentes e também utilizando exemplos de códigos como referência, facilitando a implementação e otimização do sistema. A seguir, apresenta-se uma descrição detalhada de cada um desses códigos, de acordo com as funções de cada módulo e suas interações.

Apêndice 1: Código do ESP32 Mestre (Dispositivo Tátil de Controle)

O primeiro código refere-se ao ESP32 mestre, localizado no dispositivo tátil de controle. Sua principal função é receber os comandos do usuário, por meio dos botões e alavancas.

Utilizando a comunicação sem fio ESP-NOW para enviar os comandos para o ESP32 receptor localizado no chassi do robô, permitindo que as ações sejam executadas em tempo real.

Apêndice 2: Código do ESP32 Receptor (Localizado no Chassis)

O segundo código refere-se ao ESP32 receptor, que está localizado no chassi do robô. Esse dispositivo recebe os comandos enviados pelo ESP32 mestre e executa as ações correspondentes, como controlar os motores (para frente, ré, ou parar) e o movimento do braço robótico. O ESP32 receptor também é responsável por monitorar e ativar outros dispositivos, como iluminação e sinal sonoro, de acordo com as instruções recebidas.

Apêndice 3: Código dos Módulos ESP32-CAM (Streaming de Vídeo)

O terceiro código refere-se aos módulos ESP32-CAM, que são responsáveis pelo streaming de vídeo, capturando as imagens e transmitindo-as para a rede Wi-Fi.

Apêndice 4: Código do ESP32 para Criação da Rede Wi-Fi (Access Point)

O quarto código é responsável por configurar um dos ESP32 para criar uma rede Wi-Fi local. Esse dispositivo atua como Access Point (AP), permitindo que os módulos ESP32-CAM se conectem diretamente à rede criada. Ele centraliza as conexões dos dispositivos e facilita o encaminhamento de dados para o notebook.

Esses quatro códigos, ao trabalharem em conjunto, formam a base para o controle e operação do robô, além de possibilitar o monitoramento visual em tempo real, proporcionando um sistema robusto e sem a necessidade de infraestrutura externa de internet.

3.5.9 DISPOSITIVO TÁTIL PARA CONTROLE À DISTÂNCIA

O dispositivo tátil para controle à distância foi projetado para proporcionar uma interface intuitiva e eficiente no controle do robô EOD. Uma bateria chumbo-Ácido de 6 V e um regulador LM317 fornecem a tensão necessária ao microcontrolador. O dispositivo conta com chaves seletoras que permitem a seleção das velocidades do robô. Essas chaves possibilitam a escolha de diferentes modos de operação, ajustando a velocidade de movimento conforme a necessidade da tarefa a ser executada.

Alavancas foram incluídas para permitir o acionamento dos motores. Essas alavancas oferecem uma resposta física ao usuário, permitindo que o controle seja feito de forma rápida e prática.

As chaves liga/desliga são responsáveis pelo controle geral de ativação e desativação dos diversos subsistemas do robô, como os motores, luzes, buzina e outras partes do sistema. Estas

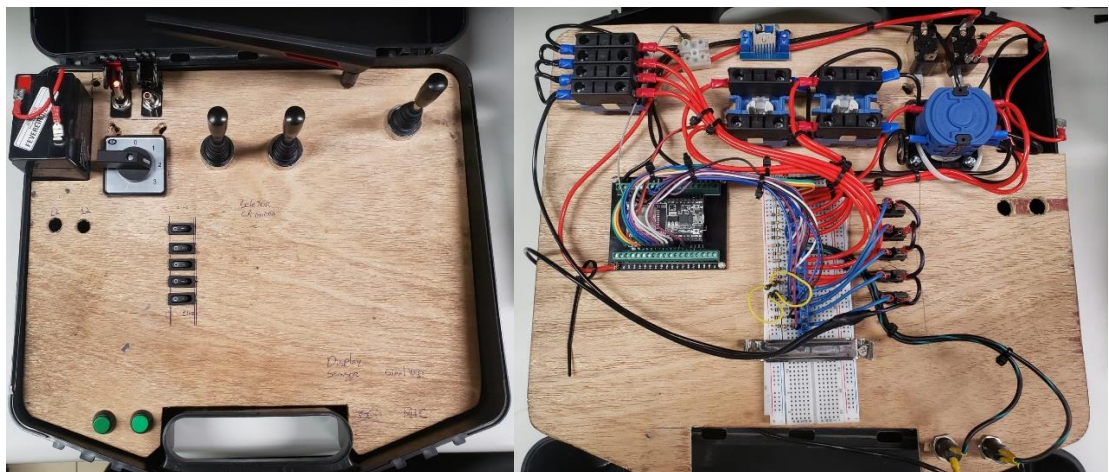
chaves permitem ao usuário ativar ou desativar rapidamente funções específicas, garantindo segurança e conveniência no uso.

As alavancas/chaves foram configuradas com resistores pull-up. Quando o botão ou alavanca não é pressionado, a resistência pull-up garante que o pino de entrada esteja em um estado alto. Isso previne que o pino fique em um estado indefinido, o que poderia causar leituras erradas ou instabilidade no sistema. Ao pressionar a alavanca ou botão, o pino de entrada é conectado ao terra (GND), e o estado muda para baixo (LOW). Isso permite ao microcontrolador (ESP32) detectar a ação de forma precisa e disparar a função correspondente.

O objetivo da construção do controlador foi assegurar que o usuário possa realizar operações complexas de forma prática e segura, minimizando a necessidade de intervenções no software ou comandos remotos, tornando a experiência de controle mais fluida e direta.

As imagens 4 e 5 mostram a montagem final do controlador:

IMAGEM 4 – DISPOSITIVO FRENTE E VERSO



Fonte: O Autor

3.6 Estudo da Faixa de Temperatura e Sensibilidade Térmica

No desenvolvimento de sistemas robóticos, especialmente em ambientes desafiadores como os enfrentados por um robô EOD (Explosive Ordnance Disposal), a faixa de temperatura de operação dos componentes eletrônicos e mecânicos é um fator crítico para garantir o desempenho, segurança e confiabilidade do dispositivo.

A variação térmica pode afetar diretamente a funcionalidade dos sensores, atuadores, circuitos e microcontroladores utilizados, além de influenciar a precisão e a durabilidade dos materiais que compõem o robô.

Com o objetivo de identificar as condições ideais de operação e evitar falhas causadas por temperaturas extremas, foi realizado um estudo dos principais elementos sensíveis à temperatura presentes no robô. A seguir, apresenta-se a tabela 5, que resume os principais componentes do robô EOD e suas respectivas faixas de operação térmica. Esse levantamento permite entender melhor as limitações térmicas de cada parte do sistema e otimizar o projeto para garantir um desempenho eficiente em uma ampla gama de condições ambientais.

TABELA 5 – FAIXA DE OPERAÇÃO TÉRMICA DE ELEMENTOS

DESCRIÇÃO	FAIXA DE OPERAÇÃO	
	MIN(°C)	MAX(°C)
BATERIA MOURA VRLA SÉRIE MVA 12V 7AH	-15	45
MOTOR MY1016Z	-20	45
CAMERA OV2640	-30	60
CAPACITOR 104 - 100nF	-25	85
ESP32-CAM	-20	85
ESP32-WROOM-32U	-40	85
LM2596	-40	85
MÓDULO RELÉ 2 CANAIS C/ OPTOACOPLADORES	-40	85
C.I. SN74HC244	-40	85
MANTA BORRACHA NITRILICA Composto NB-5227 2,4mm	-40	100
CAPACITOR 330uF 50v	-40	105
CAPACITOR 47NK 400	-55	125
LM317T	0	125
BTS7960	-40	150
DIODO 6A10	-65	150
RESISTOR 47R 5W	-55	155
DIODO NFC46G U820	-65	175

Fonte: O Autor

Analisando a tabela de componentes fornecida, os componentes com a faixa de operação mais restritivas são o regulador LM317T, os motores MY1016Z e a bateria Moura VRLA Série MVA 12V 7Ah, obtendo uma faixa de 0°C a 45°C. Portanto, para operar de forma segura e eficaz, o robô E.O.D deve ser mantido dentro dessa faixa térmica.

Para ampliar a faixa de operação térmica, pode-se substituir o LM317 por reguladores chaveados mais robustos, que possuam uma faixa térmica mais abrangente.

Outra alternativa mais extrema seria adotar aquecedores internos, como um resistor de aquecimento controlado por termostato junto à carcaça dos reguladores, para climas muito frios ou dissipadores com ventilação forçada para climas quentes.

3.7 TESTES DE PERFORMANCE

Os testes de performance foram realizados para validar a capacidade do sistema em operar dentro das condições previstas, garantindo eficiência, robustez e confiabilidade. Esses testes englobam a verificação de aspectos como autonomia da bateria, alcance de controle, resposta dos motores, qualidade do streaming de vídeo e a resistência dos componentes às variações de temperatura. Através desses ensaios, busca-se não apenas identificar eventuais limitações, mas também assegurar que o robô atenda aos requisitos estabelecidos, operando de maneira eficiente e segura nas condições reais de uso.

Os testes incluíram avaliações práticas. A seguir, são apresentados os detalhes e resultados dos testes realizados:

- a) Teste 1: Movimentação em escadas e terrenos diversos.
- b) Teste 2: Distância de streaming de vídeo e controle (com e sem obstáculos, indoor e outdoor).
- c) Teste 3: teste de velocidade.

3.7.1 ANÁLISE E RESULTADO DO TESTE 1

Realizou-se testes de movimentação em escadas e terrenos diversos, incluso obstáculos verticais de até 90° e 15 cm de altura.

Durante a execução do teste de movimentação em escadas e terrenos diversos, foram identificados desafios mecânicos e eletrônicos que exigiram intervenções para garantir a funcionalidade e a segurança do robô. Um dos problemas observados foi a falta de tensão nas esteiras, que causava desalinhamento mecânico e comprometia a transferência de força. Para corrigir isso, implementou-se um tensor de corrente, otimizando o alinhamento e melhorando a eficiência do sistema de tração.

Outro problema crítico ocorreu durante a descida de degraus, quando um módulo LM2596 apresentou falha irreparável. A hipótese trabalhada foi de que a falha poderia ter sido causada por impactos dinâmicos, uma sobrecorrente proveniente do giro reverso dos motores ou até mesmo um curto-circuito gerado no processo. Para mitigar essas situações, foram adotadas as seguintes soluções:

- a) Substituição do módulo danificado: Um novo LM2596 foi instalado.

- b) Adição de circuito snubber: Composto por um capacitor de 47nF de poliéster e um resistor de 47Ω , para reduzir picos de tensão.
- c) Adição de supressores de surtos transitórios às entradas dos circuitos reguladores
- d) Reforço físico dos componentes: Foi aplicada uma manta de borracha nitrílica ao redor dos circuitos elétricos para absorver impactos e garantir fixação adequada dos componentes além de ajudar no isolamento elétrico dos mesmos.

Essas melhorias visam prevenir futuras falhas, aumentar a robustez do sistema e garantir que o robô seja capaz de operar em condições adversas, como a movimentação em escadas, sem comprometer sua integridade mecânica e eletrônica.

O robô E.O.D obteve sucesso ao superar obstáculos verticais de até 90° e 15 cm de altura. A imagem 5 mostra a superação de um obstáculo pelo robô E.O.D.

IMAGEM 5 – OBSTÁCULO SUPERADO PELO ROBÔ E.O.D.



Fonte: O Autor.

Em geral, o robô E.O.D. demonstrou excelente desempenho em terrenos irregulares, garantindo alta estabilidade e capacidade todo-terreno. A resposta aos comandos de locomoção foi ágil e precisa, mesmo em superfícies inclinadas ou com obstáculos moderados. No entanto, foi identificado que o sistema de tensor das esteiras ainda necessita de melhorias para aumentar a eficiência e a durabilidade operacional, especialmente em condições mais extremas.

O dispositivo tátil de controle apresentou uma interface intuitiva e responsiva. Contudo, foi observada uma leve latência em maiores distâncias, possivelmente devido às limitações de

alcance dos sistemas de comunicação. Apesar disso, o controle mostrou-se confiável para operações em distâncias compatíveis com os cenários testados.

O braço robótico construído, não possui a robustez esperada para operações intensivas. Sua utilização como suporte para câmeras e acessórios foi eficiente, mas limitações estruturais restringem sua aplicação em tarefas de maior complexidade.

O consumo energético do robô foi consistente com o esperado. A autonomia demonstrou ser adequada para testes de curto a médio prazo, mas é recomendável a inclusão de métricas de monitoramento de carga para otimização futura.

Foi identificado certo desgaste na manta de borracha e nas rodas, causado principalmente pelo uso destas como guias para as correntes das esteiras, que são fabricadas em aço. Esse tipo de configuração gera atrito adicional, o que pode comprometer a durabilidade do conjunto a longo prazo. Melhorias no projeto, como o uso de rolamentos ou materiais de menor desgaste nas guias, podem mitigar esse problema.

3.7.2 ANÁLISE E RESULTADO DO TESTE 2

Para avaliar as distâncias de comunicação entre o robô e o dispositivo tátil de controle, foi utilizado o sistema de localização GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM) integrado ao smartphone como ferramenta de medição. Embora essa tecnologia seja amplamente utilizada para localização e navegação, é importante ressaltar que o GPS utilizado apresenta limitações de precisão, especialmente em ambientes fechados ou em condições onde sinais de satélite sofrem interferência. Assim, os valores obtidos possuem uma margem de erro inerente ao sistema, mas foram considerados adequados para o propósito de estimar o alcance efetivo dos sistemas de comunicação do robô. Embora não seja um sistema projetado especificamente para medições de curta distância, o GPS foi selecionado por sua disponibilidade e conveniência.

Os resultados obtidos são apresentados a seguir:

- a) Distância indoor com obstáculos: aproximadamente 25 metros, com variações significativas dependendo do número e da densidade dos obstáculos, como paredes e mobiliário.
- b) Distância indoor sem obstáculos: 67 metros, com excelente resposta e baixa latência.
- c) Distância outdoor com obstáculos: 108 metros, considerando interferências moderadas, como árvores e estruturas.

3.7.3 ANÁLISE E RESULTADO DO TESTE 3

Para avaliar o desempenho do robô em termos de velocidade, foi realizado um teste utilizando o software Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics. Este programa é amplamente utilizado para análises de movimento e permite a medição precisa da velocidade com base na análise de vídeos.

Durante o teste, o robô foi filmado em um percurso linear, e os dados de posição ao longo do tempo foram analisados no software. Após a análise dos frames, foi calculada uma velocidade média de 0,356 m/s (equivalente a aproximadamente 1,28 km/h).

Embora a velocidade final esteja abaixo do valor projetado, a priorização do torque dos motores demonstrou-se uma escolha estratégica para atender às demandas operacionais do robô. O desempenho obtido reflete a capacidade do sistema de navegar com estabilidade e força em terrenos desafiadores, consolidando seu propósito como um robô todo-terreno.

4 CUSTOS DO PROJETO

O desenvolvimento de um projeto de robô envolve diversas variáveis que influenciam os custos finais. Para o cálculo destes custos dividiu-se o mesmo em categorias, como o custo das horas técnicas, a aquisição de componentes, e possíveis royalties associados ao uso de tecnologias licenciadas e no recebimento para patentes relacionadas a novas tecnologias ou produtos.

4.1 CUSTO DE HORAS TÉCNICAS

O custo das horas técnicas é um dos principais componentes financeiros de qualquer projeto de engenharia, representando o tempo dedicado pelos profissionais envolvidos no desenvolvimento. Esse valor depende da taxa horária do engenheiro ou técnico e da quantidade de horas gastas em tarefas como design, programação, testes e ajustes. O cálculo do custo de horas técnicas é feito multiplicando-se o número total de horas trabalhadas pelo valor da hora técnica, que pode variar dependendo da experiência do profissional e do nível de complexidade do projeto. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2024).

A tabela 6 apresenta uma visão detalhada das horas dedicadas a cada etapa do projeto, especificando o tempo alocado para as diversas atividades e processos envolvidos no desenvolvimento e execução do projeto.

TABELA 6 – HORAS DESPENDIDAS NO TRABALHO

TEMPO PRODUTIVO	horas
Modelagem 3D e análises	6
Construção do chassi	10
construção das esteiras	18
construção do braço manipulador	8
construção de elementos da suspensão	4
Pintura	3
montagem principal e ajustes	15
montagem elétrica e programação	20
TEMPO IMPRODUTIVO	
pesquisa e compra de peças	15
deslocamento para compra de materiais	3
TOTAL	102

Fonte: O Autor.

Na elaboração do projeto, selecionou-se hipoteticamente o valor da hora técnica com base na Tabela de Honorários da ABEMEC-RS, considerando a categoria TREINEE, que corresponde a profissionais em formação ou com experiência limitada. Para a seleção do valor, optou-se pela seção de serviço com maior complexidade, levando em conta a necessidade de um maior grau de especialização nas atividades envolvidas. O valor atribuído para a hora técnica foi de R\$ 180,00, já incluindo tributos. Esse valor serve como base para o cálculo do custo total de horas técnicas. Para calcular o valor total das horas técnicas, multiplicamos o número de horas trabalhadas pelo valor da hora técnica, resultando em um custo de R\$ 18.360,00 para a execução das atividades relacionadas ao projeto. Este valor reflete o custo com o tempo gasto pelo profissional durante o desenvolvimento de todas as etapas, desde o planejamento até a finalização do projeto.

4.2 CUSTO DE AQUISIÇÃO DE COMPONENTES

Um aspecto importante do custo do projeto é a aquisição dos componentes necessários para a construção do robô. Isso inclui desde os microcontroladores, motores até componentes menores, como resistores, capacitores e conectores. O custo de cada peça depende de fatores como a marca, a especificação técnica e a quantidade adquirida. Em muitos casos, a escolha de componentes de alta qualidade pode acarretar em um aumento no custo, mas tende a

garantir maior durabilidade e desempenho. O cálculo do custo das peças é feito somando o preço unitário de cada componente multiplicado pela quantidade necessária para o projeto.

A tabela 7 apresenta uma visão dos componentes adquiridos

TABELA 7 – PLANILHA DE CUSTOS DE PEÇAS ADQUIRIDAS

CUSTOS	Marca	Valor	Quantidade	Total
Amortecedor 110mm		R\$ 28,15	6	R\$ 168,90
Antena 6dbi 2.4GHz		R\$ 31,00	2	R\$ 62,00
Alça CAN 133		R\$ 8,00	4	R\$ 32,00
Barra Aço cantoneira cantoneira 1.3/4 x 3/16 pol 6mts	RR aços	R\$ 122,00	1	R\$ 122,00
Barra alumínio perfil BC016 19,05x4,76mm 3mts	Alusul	R\$ 64,30	3	R\$ 192,90
Barra metalon 20x20x18	RR aços	R\$ 68,00	1	R\$ 68,00
Bateria estacionária Nobreak 12MVA-12	Moura	R\$ 72,00	2	R\$ 144,00
Botão de Emergência 22mm 1NF	wiconex	R\$ 24,00	1	R\$ 24,00
BTS7960 ponte H 40A		R\$ 18,00	5	R\$ 90,00
caixa de fusíveis 12 vias		R\$ 76,00	1	R\$ 76,00
corrente Asa 40/1 -1 metro	corremol	R\$ 25,00	2	R\$ 50,00
corrente Asa 40/1 com abas -1 metro	corremol	R\$ 69,96	8	R\$ 559,68
Eixo Retificado Cromado 10 mm X 1000mm H7 Sae 1045	MARSELHA SHOP	R\$ 78,00	1	R\$ 78,00
emendas para corrente Asa 40/1	corremol	R\$ 2,20	2	R\$ 4,40
emendas para corrente Asa 40/1 com abas	corremol	R\$ 7,96	8	R\$ 63,68
Engrenagem Cônica 90° 16 dentes p/ eixo 10 mm		R\$ 15,00	2	R\$ 30,00
engrenagens 16 dentes para corrente Asa 40/1	corremol	R\$ 14,23	10	R\$ 142,30
engrenagens 9 dentes para corrente Asa 40/2	corremol	R\$ 24,82	2	R\$ 49,64
joystick switch 2 vias travamento		R\$ 20,00	2	R\$ 40,00
joystick switch 4 vias momentâneo		R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Kit transmissão 3:1 polia Gt2 15mm		R\$ 61,60	1	R\$ 61,60
Modulo rangefinder TOF050C VL6180X		R\$ 18,00	1	R\$ 18,00
Molas de compressão diametro 3mm		R\$ 13,00	6	R\$ 78,00
Motor DC modelo 5840-31ZY-2480	ZengWhcd	R\$ 92,57	1	R\$ 92,57
Motor DC modelo JGY370 24v 2rpm		R\$ 67,00	1	R\$ 67,00
Motor DC modelo MY1016Z		R\$ 100,00	2	R\$ 200,00
Parafuso Allen Aço Liga Cabeça Abaulada M3 X 6 - 500 Peças		R\$ 102,00	1	R\$ 102,00
Parafuso Allen s/cabeça M3		R\$ 0,50	12	R\$ 6,00
Parafuso sextavado Flang M10		R\$ 3,50	18	R\$ 63,00
Placa expansão esp32		R\$ 24,00	2	R\$ 48,00
Placa Modulo Esp32-cam Com Câmera Ov2640 e Antena Ext.	ESPRESSIF	R\$ 75,00	2	R\$ 150,00
Placa Modulo Esp32-wroom-32u	ESPRESSIF	R\$ 49,00	3	R\$ 147,00
Placa módulo LM2596		R\$ 10,00	3	R\$ 30,00
Placa Modulo LM317		R\$ 18,00	3	R\$ 54,00
Porca sextavada M10		R\$ 0,60	24	R\$ 14,40
projeto luz led IP68 -par		R\$ 38,68	1	R\$ 38,68
Roda 4" capacidade de carga=60Kg	Beltools	R\$ 12,91	12	R\$ 154,92
Rolamento com mancal KFL000 -	Tpcid	R\$ 16,78	4	R\$ 67,12
Rolamento Rígido De Esferas 6000 Zz C3 10x26x8		R\$ 2,99	10	R\$ 29,90
Parafuso Allen cabeça chata M6x12		R\$ 1,00	4	R\$ 4,00
Chapa Alumínio-sucata 7kg		R\$ 189,00	1	R\$ 189,00
Manta borracha 2,4mm		R\$ 80,00	1	R\$ 80,00
TOTAL				R\$ 3.717,69

Fonte: O Autor

4.3 CUSTOS DE ROYALTIES

Royalties associados ao uso de tecnologias licenciadas, bem como ao recebimento de patentes relacionadas a novas tecnologias ou produtos, são compensações financeiras pagas pelos licenciados aos titulares de patentes ou detentores de direitos sobre uma inovação. (Remessa Online, 2024)

O robô desenvolvido utiliza várias tecnologias licenciadas, que incluem microcontroladores como o ESP32, que opera com o Arduino IDE. Sendo o ESP32 uma plataforma de código aberto com suporte amplo e gratuito, mas a Espressif, sua fabricante, possui direitos sobre o design do chip e pode licenciar suas tecnologias para aplicações comerciais, exigindo o pagamento de royalties em certos casos. Além disso, o uso de outras tecnologias, como bibliotecas de software ou componentes específicos com patentes, pode envolver acordos de licenciamento. Tecnologias como o ESP-NOW, protocolos de comunicação sem fio, e o uso de bibliotecas do Arduino também podem ter licenças associadas, dependendo da aplicação comercial. O pagamento de royalties é uma prática comum em projetos que utilizam tecnologias licenciadas para garantir que os criadores e detentores de patentes recebam compensação pela utilização de suas inovações.

Quanto ao recebimento de royalties, estes geralmente são calculados como uma porcentagem do valor das vendas de produtos ou serviços que utilizam a tecnologia licenciada (Remessa Online, 2024). No caso de inovações em áreas como engenharia mecânica, eletrônica ou software, os royalties podem variar entre 3% a 10% do preço de venda por unidade, dependendo da relevância e exclusividade da tecnologia. Além disso, algumas patentes podem envolver royalties fixos ou pagamentos baseados em economias de custo ou aumento de lucros gerados pelo uso da tecnologia.

Esses valores e a estrutura dos royalties são estabelecidos em contratos de licenciamento, que podem ser negociados de acordo com a complexidade e o impacto da tecnologia no mercado. Para patentes de produtos ou componentes inovadores, os royalties tendem a ser mais altos, especialmente se a invenção tiver um papel fundamental no produto final ou na operação de um processo.

A Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO, na sigla em inglês) oferece diversos estudos que auxiliam no cálculo de royalties, incluindo um Manual para Pesquisadores. Esse manual apresenta exemplos e explicações detalhadas sobre metodologias aplicadas globalmente, sendo uma referência valiosa. Em 2014 a organização publicou um estudo que reúne taxas de royalties praticadas em diferentes indústrias, contendo tabelas que permitem realizar comparações úteis. Com base neste exemplo calculou-se hipoteticamente os royalties aplicáveis ao projeto do robô E.O.D. considerando a média praticada no setor de tecnologia e engenharia eletrônica. A partir dos dados disponibilizados pela WIPO, Utilizou-se o cálculo do PBIT (Profit Before Interest and Tax, ou Lucro Operacional Antes de Juros e Impostos) que é essencial para determinar a lucratividade operacional de um projeto e analisar

o impacto de royalties. A partir disto utilizou-se também a "Regra dos 25%", que sugere que o valor do royalties seja aproximadamente 25% do PBIT, pois, assume-se que 75% dos benefícios gerados pela tecnologia pertencem ao licenciado e 25% ao licenciante, já que o licenciado tem uma maior parcela das responsabilidades e dos riscos relacionados ao sucesso do negócio. Nesse caso:

- Preço de venda do robô (Receita Total): R\$ 50.000 por unidade
- Custo de fabricação (incluindo horas técnicas e componentes): R\$ 22.077,69
- Outros custos operacionais (overheads, transporte, etc.): R\$ 5.000 por unidade
- Produção esperada: 10 unidades no primeiro ano.

Calculando o PBIT:

Receita Total:

$$\text{R\$ } 50.000 \times 10 \text{ unidades} = \text{R\$ } 500.000$$

Custo Total de Produção:

$$\text{R\$ } 22.077,69 \times 10 \text{ unidades} = \text{R\$ } 220.776,90$$

Outros custos operacionais:

$$\text{R\$ } 5.000 \times 10 \text{ unidades} = \text{R\$ } 50.000$$

PBIT (Lucro Operacional):

$$\text{R\$ } 500.000 - (\text{R\$ } 220.776,90 + \text{R\$ } 50.000) = \text{R\$ } 229.223,10$$

Calculando royalties com a "Regra dos 25%":

Usando o PBIT, aplica-se a regra para determinar o royalty:

$$\text{Royalty} = 25\% \times \text{R\$ } 229.223,10 = \text{R\$ } 57.305,78 \text{ por ano}$$

O que representa aproximadamente 11,46% do faturamento total (R\$ 57.305,78 / R\$ 500.000).

Se, no desenvolvimento do robô E.O.D, for necessário pagar royalties a terceiros (por exemplo, por uso de tecnologias licenciadas), esses valores devem ser subtraídos do lucro operacional.

Os estudos da WIPO servem como uma base confiável para a definição de royalties, mas o cálculo deve sempre ser adaptado ao contexto e às condições do mercado local. No caso do projeto do robô E.O.D, a taxa utilizada neste exemplo mostra-se razoável, mas a definição final dependerá de fatores como o volume de vendas projetado, o grau de inovação da tecnologia e as práticas comerciais da indústria nacional.

4.4 CUSTO FINAL DO PROJETO

O projeto do robô E.O.D foi desenvolvido com base em especificações técnicas reais, extraídas de um edital onde o valor de venda do robô foi determinado em R\$ 2.004.776,47. Essas especificações foram adaptadas e ajustadas conforme as necessidades do projeto, levando em consideração os desafios técnicos e as limitações de recursos disponíveis. O custo final do projeto, considerando todas as fases de pesquisa, desenvolvimento e adaptação, foi de R\$ 22.077,69.

A relação entre o custo final de desenvolvimento e o valor de venda do robô destaca uma característica importante do projeto: o custo de desenvolvimento representa uma fração muito pequena do valor total de comercialização. Ao calcular a porcentagem, verificamos que o custo final de R\$ 22.077,69 corresponde a 1,10% do valor de venda real de um robô desta natureza.

Para atingir plenamente os requisitos reais do projeto, considerando todas as especificações e as demandas do mercado, o custo de desenvolvimento certamente seria muito maior do que os R\$ 22.077,69 inicialmente calculados. Isso se deve à complexidade técnica e aos recursos necessários para atender completamente a todos os requisitos de desempenho, segurança e funcionalidade de um robô antibombas de alta tecnologia.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

No desenvolvimento do protótipo do robô E.O.D. observou-se ser possível conceber um dispositivo robusto, capaz de operar em terrenos diversos e superar obstáculos com eficiência, considerando limitações orçamentárias e disponibilidade de componentes no mercado. O que pode representar um importante avanço na criação de soluções acessíveis e funcionais para operações de alto risco, como a desativação de artefatos explosivos.

Desafios específicos foram identificados e servirão como base para trabalhos futuros. Um dos principais objetivos é o projeto e construção de uma placa de circuito impresso (PCI) personalizada, selecionando e dimensionando os componentes de acordo com as necessidades específicas do robô. Essa abordagem permitirá, entre outras vantagens, aumentar a faixa térmica de operação e otimizar o desempenho, em substituição ao uso de módulos prontos que atendem a aplicações genéricas. Além disso, serão priorizadas melhorias no sistema de tração das esteiras, no aumento da robustez do braço manipulador e na eficiência energética, ampliando a autonomia e a robustez do protótipo.

Visa-se o desenvolvimento de algoritmos mais avançados para controle, e a integração de sensores adicionais, como câmeras térmicas e detectores de gases e de distância, que podem ampliar significativamente as habilidades de aplicação do robô.

A relação entre o custo de desenvolvimento (que representa apenas 1,10% do valor de venda) e o valor de mercado do produto final sugere que mesmo com a implementação de melhorias, que adicionam custos, o retorno financeiro poderia ser substancial. Esse tipo de margem de lucro é comum em projetos de alta tecnologia, onde o investimento inicial pode ser baixo em comparação com o valor agregado no produto final, oferecendo uma excelente oportunidade para rentabilidade, caso o robô atenda às expectativas do mercado.

Com isso, o presente trabalho contribui tanto para o campo acadêmico quanto para o mercado de soluções em segurança pública, oferecendo um ponto de partida promissor para a evolução de tecnologias voltadas à proteção e preservação de vidas em situações de risco extremo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA MECÂNICA (ABEMEC). **Tabela de Honorários**. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul (CREA-RS). Disponível em: < <https://www.crea-rs.org.br/site/documentos/TABELA%20HONORARIOS%20ABEMEC.pdf> > Acesso em: 18 nov. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077:2001 - Saídas de emergência em edifícios**. Rio de Janeiro, 2001.
- CARTWRIGHT, P.; PASCON, P. E. **Explosões (parte 1)**. Processos - Soluções de Engenharia, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.processos.eng.br/wp-content/uploads/2017/07/explosoesI.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- CRAIG, John J. **Robótica**: 3. ed. São Paulo: Pearson, 2013.
- CT Borracha. **Propriedades tribológicas das borrachas vulcanizadas**. Disponível em: <<https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-tribologicas/>>. Acesso em: 14 nov. 2024.
- DIAS, Claudinei. **AMBIENTE DE TELERROBÓTICA COLABORATIVA COLBOT4US**. Disponível em: < <http://www.ensinosuperior.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2013/10/Claudinei-Dias.pdf> >. Acesso em: 08 ago. 2024.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32**. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- ESAB. **Apostila de soldagem MIG/MAG**. Disponível em: <<https://www2.ufjf.br/profab/files/2016/09/ESAB-Apostila-MIG-MAG.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Edital do Pregão Eletrônico Internacional - PEI nº 33/2023**. Polícia Militar do Distrito Federal. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/compras/pt-br/>>. Acesso em: [24 abril 2024].
- HALLIDAY, David et al. **Fundamentos de Física**. 10. ed. Vol. 1: Mecânica. Tradução. [s.l.]: [s.n.], 2020.
- LEÃO, Décio José Aguiar. **Operações antibombas: uma introdução à doutrina e organização dos esquadrões de bombas e ao enfrentamento aos crimes envolvendo bombas e explosivos**. 1. ed. São Paulo: Ícone, 2022. E-book. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br>>. Acesso em: 09 ago. 2024.
- MATARIC, Maja. **Introdução à robótica**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2014. E-book. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br>>. Acesso em: 08 ago. 2024.
- Munhoz, Igor Polezi. **Robótica**. 1. ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. Disponível em: <https://cm-cls-content.s3.amazonaws.com/201702/INTERATIVAS_2_0/ROBOTICA/U1/LIVRO_UNICO.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2024.
- PRECISION MICRODRIVES. **AB-022 - PWM Frequency For Linear Motion Control**. Disponível em: <<https://www.precisionmicrodrives.com/ab-022>>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- REMESSA ONLINE. **O que são royalties e como funcionam**. Disponível em: <<https://www.remissaonline.com.br/blog/royalties/>>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- REVISTA BRASILEIRA DE OPERAÇÕES ANTIBOMBAS | Curitiba, Vol. 1, N. 1, Jun. 2020, p. 5-26.
- Sibanda, McLean. **IP and Finance: Accounting and Valuation of IP Assets and IP-based Financing – Topic 17**. Organised by the World Intellectual Property Organization (WIPO) and the African Regional Intellectual Property Organization (ARIPO), Harare, Zimbabwe,

28th November 2014. Disponível em:

<https://www.wipo.int/edocs/mdocs/sme/en/wipo_aripo_smes_hre_14/wipo_aripo_smes_hre_14_t19.ppt>. Acesso em: 19 nov. 2024.

- SILVA, Felipe Barbosa da. **Desenvolvimento de eletrônica para controle de motores DC com escova**. 2018. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) — Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2018.
- TAGHIZADEH, Abbas Ostad et al. **Explosive Events: Health Consequences and Management**. ResearchGate, 2012. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/257338213_Explosive_Events_Health_Consequences_and_Management>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- TOZZINI, Leonardo Giovanni Hermes. **A produção, as características e a utilização dos principais explosivos utilizados na artilharia de campanha do Exército Brasileiro**. Resende: Academia Militar das Agulhas Negras, 2019.

7 APÊNDICE

7.1 Apêndice 1: Código do ESP32 Mestre (Dispositivo Tátil de Controle)

```
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

const int MOTOR1_BOTAOFRENTE = 35;
const int MOTOR1_BOTAORÉ = 32;
const int MOTOR2_BOTAOFRENTE = 33;
const int MOTOR2_BOTAORÉ = 25;

const int BOTAO_VEL1 = 39;
const int BOTAO_VEL2 = 36;
const int BOTAO_VEL3 = 34;

const int BOTAO_FAROIS = 26;
const int BOTAO_BUZINA = 27;

const int ALAVANCA_FRENTE = 22;
const int ALAVANCA_TRAS = 13;
const int ALAVANCA_ESQ = 14;
const int ALAVANCA_DIR = 23;

const int BOTAO_JUNTA_1 = 21;
const int BOTAO_JUNTA_2 = 19;
const int BOTAO_JUNTA_3 = 18;
const int BOTAO_JUNTA_4 = 17;
const int BOTAO_GARRA = 16;

// Estrutura para enviar comandos separados ao Escravo
typedef struct struct_message {
    int motor1Command;
    int motor2Command;
    int pwmValue; // Valor PWM para o controle de velocidade
    int JuntaSelecionada;
    int ComandoJunta;
    int comandoFarol; // Comando do farol: 1 para ligado, 2 para desligado
    int comandoBuzina; // Comando da buzina: 1 para ligada, 2 para desligada
} struct_message;

struct_message myData; // Estrutura para os dados
esp_now_peer_info_t peerInfo;
int UltimoComandoM1 = 0;
int UltimoComandoM2 = 0;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
```

```

pinMode(MOTOR1_BOTAOFRENTE, INPUT);
pinMode(MOTOR1_BOTAORÉ, INPUT);
pinMode(MOTOR2_BOTAOFRENTE, INPUT);
pinMode(MOTOR2_BOTAORÉ, INPUT);

pinMode(BOTAO_VEL1, INPUT);
pinMode(BOTAO_VEL2, INPUT);
pinMode(BOTAO_VEL3, INPUT);

pinMode(BOTAO_FAROIS, INPUT);
pinMode(BOTAO_BUZINA, INPUT);

pinMode(ALAVANCA_FRENTE, INPUT);
pinMode(ALAVANCA_TRAS, INPUT);
pinMode(ALAVANCA_ESQ, INPUT);
pinMode(ALAVANCA_DIR, INPUT);

pinMode(BOTAO_JUNTA_1, INPUT);
pinMode(BOTAO_JUNTA_2, INPUT);
pinMode(BOTAO_JUNTA_3, INPUT);
pinMode(BOTAO_JUNTA_4, INPUT);
pinMode(BOTAO_GARRA, INPUT);

WiFi.mode(WIFI_STA);

if (esp_now_init() != ESP_OK) {
    Serial.println("Erro ao inicializar ESP-NOW");
    return;
}

memcpy(peerInfo.peer_addr, "\x10\x06\x1C\x85\x55\x24", 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;

esp_now_add_peer(&peerInfo);
}

void VELOCIDADE() {
    if (digitalRead(BOTAO_VEL1) == LOW) {
        myData.pwmValue = 85;
    } else if (digitalRead(BOTAO_VEL2) == LOW) {
        myData.pwmValue = 170;
    } else if (digitalRead(BOTAO_VEL3) == LOW) {
        myData.pwmValue = 255;
    } else {
        myData.pwmValue = 0;
    }
}

```

```

}

void ACIONAMENTO_MOTOR1() {
    int comandoM1;
    if (digitalRead(MOTOR1_BOTAOFRENTE) == LOW) comandoM1 = 1; // Motor 1 frente
    else if (digitalRead(MOTOR1_BOTAORÉ) == LOW) comandoM1 = 2; // Motor 1 ré
    else comandoM1 = 3; // Motor 1 parado

    if (comandoM1 != UltimoComandoM1) {
        UltimoComandoM1 = comandoM1;
        myData.motor1Command = comandoM1; // Atualiza o comando do motor 1
    }
}

void ACIONAMENTO_MOTOR2() {
    int comandoM2;
    if (digitalRead(MOTOR2_BOTAOFRENTE) == LOW) comandoM2 = 4; // Motor 2 frente
    else if (digitalRead(MOTOR2_BOTAORÉ) == LOW) comandoM2 = 5; // Motor 2 ré
    else comandoM2 = 6; // Motor 2 parado

    if (comandoM2 != UltimoComandoM2) {
        UltimoComandoM2 = comandoM2;
        myData.motor2Command = comandoM2; // Atualiza o comando do motor 2
    }
}

void SELECAO_JUNTA() {
    if (digitalRead(BOTAO_JUNTA_1) == LOW) myData.JuntaSelecionada = 1;
    else if (digitalRead(BOTAO_JUNTA_2) == LOW) myData.JuntaSelecionada = 2;
    else if (digitalRead(BOTAO_JUNTA_3) == LOW) myData.JuntaSelecionada = 3;
    else if (digitalRead(BOTAO_JUNTA_4) == LOW) myData.JuntaSelecionada = 4;
    else if (digitalRead(BOTAO_GARRA) == LOW) myData.JuntaSelecionada = 5;
}

void MOVIMENTO_JUNTA() {
    int comandoJunta = 0;
    if (digitalRead(ALAVANCA_FRENTE) == LOW) comandoJunta = 1; // Frente
    else if (digitalRead(ALAVANCA_TRAS) == LOW) comandoJunta = 2; // Trás
    else if (digitalRead(ALAVANCA_ESQ) == LOW) comandoJunta = 3; // Esquerda
    else if (digitalRead(ALAVANCA_DIR) == LOW) comandoJunta = 4; // Direita
    else comandoJunta = 0;
    myData.ComandoJunta = comandoJunta;
}

void ACIONAMENTO_FAROIS() {
    if (digitalRead(BOTAO_FAROIS) == LOW) {
        myData.comandoFarol = 1; // Ligar faróis
    } else {

```

```

        myData.comandoFarol = 2; // Desligar faróis
    }
}

void ACIONAMENTO_BUZINA() {
    // Define o comando da buzina baseado na leitura do botão
    if (digitalRead(BOTAO_BUZINA) == LOW) {
        myData.comandoBuzina = 1; // Ligar buzina
    } else {
        myData.comandoBuzina = 2; // Desligar buzina
    }
}

void loop() {
    VELOCIDADE();
    ACIONAMENTO_MOTOR1();
    ACIONAMENTO_MOTOR2();
    SELECAO_JUNTA();
    MOVIMENTO_JUNTA();
    ACIONAMENTO_FAROIS();
    ACIONAMENTO_BUZINA();

    esp_now_send(peerInfo.peer_addr, (uint8_t *)&myData, sizeof(myData));
    delay(50);
}

```

7.2 Apêndice 2: Código do ESP32 Receptor (Localizado no Chassis)

```

#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

const int R1PWM_PIN = 26; // Pino para RPWM motor 1
const int L1PWM_PIN = 27; // Pino para LPWM motor 1

const int R2PWM_PIN = 25; // Pino para RPWM motor 2
const int L2PWM_PIN = 33; // Pino para LPWM motor 2

const int FAROL_PIN = 12; // Pino para o farol
const int BUZINA_PIN = 14; // Pino para a buzina

const int R_J1PWM_PIN = 22; //PWM ESQ JUNTA 1
const int L_J1PWM_PIN = 23; //PWM DIR JUNTA 1
const int R_J2PWM_PIN = 18; //PWM ESQ JUNTA 2
const int L_J2PWM_PIN = 19; //PWM DIR JUNTA 2
const int R_J3PWM_PIN = 16; //PWM ESQ JUNTA 3
const int L_J3PWM_PIN = 17; //PWM DIR JUNTA 3

```

```

int PWM = 0; // Valor PWM inicial dos motores de tração
//int PWM_JUNTA1 = 50;

typedef struct struct_message {
    int motor1Command;
    int motor2Command;
    int pwmValue;      // Valor PWM para o controle de velocidade
    int JuntaSelecioneada;
    int ComandoJunta;
    int comandoFarol;  // Comando do farol: 1 para ligado, 2 para desligado
    int comandoBuzina; // Comando da buzina: 1 para ligada, 2 para desligada
} struct_message;

// Função para aplicar PWM no motor 1
void applyMotor1Command(int command) {
    switch (command) {
        case 1: // Frente
            ledcWrite(R1PWM_PIN, PWM); // Aplica PWM no pino RPWM
            ledcWrite(L1PWM_PIN, 0);    // Desliga LPWM
            Serial.println("Motor 1: Frente");
            break;
        case 2: // Ré
            ledcWrite(L1PWM_PIN, PWM); // Aplica PWM no pino LPWM
            ledcWrite(R1PWM_PIN, 0);    // Desliga RPWM
            Serial.println("Motor 1: Trás");
            break;
        case 3: // Parado
            ledcWrite(R1PWM_PIN, 0);    // Desliga RPWM
            ledcWrite(L1PWM_PIN, 0);    // Desliga LPWM
            Serial.println("Motor 1: Parado");
            break;
        default:
            break;
    }
}

// Função para aplicar PWM no motor 2
void applyMotor2Command(int command) {
    switch (command) {
        case 4: // Frente
            ledcWrite(R2PWM_PIN, PWM); // Aplica PWM no pino RPWM
            ledcWrite(L2PWM_PIN, 0);    // Desliga LPWM
            Serial.println("Motor 2: Frente");
            break;
        case 5: // Ré
            ledcWrite(L2PWM_PIN, PWM); // Aplica PWM no pino LPWM
            ledcWrite(R2PWM_PIN, 0);    // Desliga RPWM
            Serial.println("Motor 2: Trás");
    }
}

```

```

        break;
    case 6: // Parado
        ledcWrite(R2PWM_PIN, 0); // Desliga RPWM
        ledcWrite(L2PWM_PIN, 0); // Desliga LPWM
        Serial.println("Motor 2: Parado");
        break;
    default:
        break;
}
}

// Função para controlar o estado do farol
void applyFarolState(int comandoFarol) {
    if (comandoFarol == 1) {
        digitalWrite(FAROL_PIN, HIGH); // Liga o farol
    } else if (comandoFarol == 2) {
        digitalWrite(FAROL_PIN, LOW); // Desliga o farol
    }
}

// Função para controlar o estado da buzina
void applyBuzinaState(int comandoBuzina) {
    if (comandoBuzina == 1) {
        digitalWrite(BUZINA_PIN, LOW); // Liga a buzina
    } else if (comandoBuzina == 2) {
        digitalWrite(BUZINA_PIN, HIGH); // Desliga a buzina
    }
}

void applyJuntaCommand(int juntaSelecionada, int comandoJunta) {
    if (juntaSelecionada == 1) {
        if (comandoJunta == 4) { // Movimento para dir
            ledcWrite(R_J1PWM_PIN, 45);
            ledcWrite(L_J1PWM_PIN, 0);
        } else if (comandoJunta == 3) { // Movimento para esq
            ledcWrite(L_J1PWM_PIN, 45);
            ledcWrite(R_J1PWM_PIN, 0);
        } else { // Parado
            ledcWrite(R_J1PWM_PIN, 0);
            ledcWrite(L_J1PWM_PIN, 0);
        }
    }
    if (juntaSelecionada == 2) {
        if (comandoJunta == 2) { // Movimento para frente
            ledcWrite(R_J2PWM_PIN, PWM-40);
            ledcWrite(L_J2PWM_PIN, 0);
        } else if (comandoJunta == 1) { // Movimento para trás
            ledcWrite(L_J2PWM_PIN, PWM-40);

```

```

        ledcWrite(R_J2PWM_PIN, 0);
    } else { // Parado
        ledcWrite(R_J2PWM_PIN, 0);
        ledcWrite(L_J2PWM_PIN, 0);
    }
}

if (juntaSelecionada == 3) {
    if (comandoJunta == 1) { // Movimento para frente
        ledcWrite(R_J3PWM_PIN, PWM-40);
        ledcWrite(L_J3PWM_PIN, 0);
    } else if (comandoJunta == 2) { // Movimento para trás
        ledcWrite(L_J3PWM_PIN, PWM-40);
        ledcWrite(R_J3PWM_PIN, 0);
    } else { // Parado
        ledcWrite(R_J3PWM_PIN, 0);
        ledcWrite(L_J3PWM_PIN, 0);
    }
}
}

// Função de callback para receber dados
void onDataReceive(const esp_now_recv_info* sender, const uint8_t* data, int len) {
    struct_message myData;
    memcpy(&myData, data, sizeof(myData));

    PWM = myData.pwmValue;

    applyMotor1Command(myData.motor1Command); // Aplica comando do motor 1
    applyMotor2Command(myData.motor2Command); // Aplica comando do motor 2
    applyFarolState(myData.comandoFarol);      // Aplica comando do farol
    applyBuzinaState(myData.comandoBuzina);    // Aplica comando da buzina
    applyJuntaCommand(myData.JuntaSelecionada, myData.ComandoJunta);
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Inicializa os pinos PWM
    pinMode(R1PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(L1PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(R2PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(L2PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(R_J1PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(L_J1PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(R_J2PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(L_J2PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(R_J3PWM_PIN, OUTPUT);
    pinMode(L_J3PWM_PIN, OUTPUT);
}

```

```

// Configura o pino do farol e da buzina como saída
pinMode(FAROL_PIN, OUTPUT);
pinMode(BUZINA_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(FAROL_PIN, HIGH); // Inicialmente, o farol está desligado
digitalWrite(BUZINA_PIN, HIGH); // Inicialmente, a buzina está desligada

// Configuração dos PWMs dos motores de tração
ledcAttach(R1PWM_PIN, 5000, 8); // Define frequência de 5kHz e resolução de 8 bits para o canal
RPWM
ledcAttach(L1PWM_PIN, 5000, 8); // Define frequência de 5kHz e resolução de 8 bits para o canal
LPWM
ledcAttach(R2PWM_PIN, 5000, 8); // Define frequência de 5kHz e resolução de 8 bits para o canal
RPWM
ledcAttach(L2PWM_PIN, 5000, 8); // Define frequência de 5kHz e resolução de 8 bits para o canal
LPWM

// Configuração dos PWMs dos motores das juntas
ledcAttach(R_J1PWM_PIN, 2000, 8);
ledcAttach(L_J1PWM_PIN, 2000, 8);
ledcAttach(R_J2PWM_PIN, 2000, 8);
ledcAttach(L_J2PWM_PIN, 2000, 8);
ledcAttach(R_J3PWM_PIN, 2000, 8);
ledcAttach(L_J3PWM_PIN, 2000, 8);

// Inicializa o WiFi em modo station
WiFi.mode(WIFI_STA);

// Inicializa o ESP-NOW
if (esp_now_init() != ESP_OK) {
    Serial.println("Erro ao inicializar o ESP-NOW");
    return;
}

// Registra a função de callback para receber dados
esp_now_register_recv_cb(onDataReceive);
}

void loop() {
}

```

7.3 Apêndice 3: Código dos Módulos ESP32-CAM (Streaming de Vídeo)

```
#include "esp_camera.h"
#include <WiFi.h>

// Defina o modelo da câmera
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER // Tem PSRAM
#include "camera_pins.h"

// =====
// Configurações do ponto de acesso e IP fixo
// =====
const char* ssid = "DESARME"; // Nome do ponto de acesso (AP)
const char* password = "123456789"; // Senha do ponto de acesso

// Configurações de IP estático para o ESP32-CAM
IPAddress local_IP(192, 168, 4, 10); // IP fixo desejado para a câmera-MUDAR AQUI
IPAddress gateway(192, 168, 4, 1); // Gateway (IP do primeiro ESP32 em modo AP)
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0); // Máscara de sub-rede

void startCameraServer();
void setupLedFlash(int pin);

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Serial.setDebugOutput(true);
    Serial.println();

    // Configurações da câmera
    camera_config_t config;
    config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;
    config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;
    config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
    config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;
    config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;
    config.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM;
    config.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM;
    config.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM;
    config.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM;
    config.pin_d7 = Y9_GPIO_NUM;
    config.pin_xclk = XCLK_GPIO_NUM;
    config.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM;
    config.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM;
    config.pin_href = HREF_GPIO_NUM;
    config.pin_sccb_sda = SIOD_GPIO_NUM;
    config.pin_sccb_scl = SIOC_GPIO_NUM;
    config.pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM;
    config.pin_reset = RESET_GPIO_NUM;
    config.xclk_freq_hz = 20000000;
```

```

config.frame_size = FRAMESIZE_UXGA;
config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;
config.grab_mode = CAMERA_GRAB_WHEN_EMPTY;
config.fb_location = CAMERA_FB_IN_PSRAM;
config.jpeg_quality = 12;
config.fb_count = 1;

if (config.pixel_format == PIXFORMAT_JPEG) {
    if (psramFound()) {
        config.jpeg_quality = 10;
        config.fb_count = 2;
        config.grab_mode = CAMERA_GRAB_LATEST;
    } else {
        config.frame_size = FRAMESIZE_SVGA;
        config.fb_location = CAMERA_FB_IN_DRAM;
    }
}

// Inicializa a câmera
esp_err_t err = esp_camera_init(&config);
if (err != ESP_OK) {
    Serial.printf("Falha na inicialização da câmera com erro 0x%x", err);
    return;
}

sensor_t *s = esp_camera_sensor_get();
if (s->id.PID == OV3660_PID) {
    s->set_vflip(s, 1);
    s->set_brightness(s, 1);
    s->set_saturation(s, -2);
}
if (config.pixel_format == PIXFORMAT_JPEG) {
    s->set_framesize(s, FRAMESIZE_QVGA);
}

// Configura IP fixo
if (!WiFi.config(local_IP, gateway, subnet)) {
    Serial.println("Falha ao configurar IP estático.");
}

// Conecta ao ponto de acesso do outro ESP32
WiFi.begin(ssid, password);
WiFi.setSleep(false);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}

```

```

Serial.println("");
Serial.println("WiFi conectado com IP fixo:");
Serial.print("IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

startCameraServer();

Serial.print("A câmera está pronta! Use 'http://");
Serial.print(WiFi.localIP());
Serial.println("' para acessar.");
}

void loop() {
    delay(10000);
}

```

7.4 Apêndice 4: Código do ESP32 para Criação da Rede Wi-Fi (Access Point)

```

#include <WiFi.h>

const char* ssid = "DESARME"; // Nome da rede WiFi
const char* password = "123456789"; // Senha da rede WiFi

void setup() {
    // Inicia o monitor serial para mostrar mensagens
    Serial.begin(115200);

    // Inicia o ESP32 como ponto de acesso
    WiFi.softAP(ssid, password);

    // Aguarda até o ponto de acesso estar configurado
    Serial.println("Configurando o ponto de acesso...");
    delay(1000);

    // Mostra o endereço IP do ponto de acesso
    Serial.print("IP do AP: ");
    Serial.println(WiFi.softAPIP());
}

void loop() {
    // O loop pode ser deixado vazio, pois o ESP32 já está criando a rede
}

```

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A

Especificações técnicas do modelo de cadeira de rodas elétrica XFG-112FL, que utiliza motores MY1016Z

Descrição de Produto

Informações da Empresa

Informação Básica.

N ° de Modelo.	XFG-112FL	personalizado	personalizado
Certificação	ISO, CE	Condição	Novo
inclinado	Não Tilted	Guardada	Dobrando
Leg Rest Tipo	Ambos os lados separados	Material	Aço
Digitar	Cadeira de rodas elétrica	Motor	24V 250W*2 Brush
Battery	24V 12ah/20ah Lead-Acid	Forward Reverse Speed (Adju stable)	0-6km/H
Rear Wheel Size	16" Rubber Pneumatic	Front Wheel Size	10" PU Solid
Anti-Tip Wheel	50*25mm/2*1"	Turning Radius	600mm
Climing Capacity	12 Degrees or Less	Loading Capacity	120kgs
N.W.(No Battery)	35kgs	N.W.(with Battery)	50kgs
G.W.	58kgs	Charging Time	6-8h
Driving Distance	20km or More	Packing Size	860*430*770mm
Marca Registrada	flybrother ou personalizado	Pacote de Transporte	caixa de cartão
Especificação	860 * 430 * 770 mm	Origem	China
Código HS	871390000		

Fonte: **MADE IN CHINA.** Made-in-China. Disponível em <https://pt.made-in-china.com/co_china-qianxi/>
Acesso em: 18 nov. 2024.