Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA

Projeto Integrador II

DAMTE
Drone Auxiliar de Mapeamento Terrestre

Brasília, DF

2021

Bruno Ramos Ribeiro, Felipe Coelho Serra Gonçalves, Guilherme Gonçalves Machado, João Vitor de Moura Rosa Silva, João Vítor Morandi Lemos, José Aquiles Guedes de Rezende, Rafael Teodosio, Samara Cristina Silva dos Santos, Tiago Rodrigues dos Santos, Vinícius Hiroshi Souza Miwa, Wemerson Fontenele Sousa

DAMTE
Drone Auxiliar de Mapeamento Terrestre

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Brasília, DF

2021

Lista de ilustrações

Figura 1 – Estrutura Analítica do Projeto. 23
Figura 2 – Organograma. 23
Figura 3 – Interconexões entre os componentes presentes na central de controle . . 33
Figura 4 – Interconexões entre os componentes presentes no drone 35
Figura 5 – Esquemático do sistema de carregamento off-grid 49
Figura 6 – Direções Ortotrópicas 59
Figura 7 – Chanfro PETG HY 30N 60
Figura 8 – Chanfro ABS HY 30N 61
Figura 9 – Perfil 30303 PETG HX 30N 65
Figura 10 – Cordenadas dos frames 66
Figura 11 – Frame v1 PETG HX 30N 68
Figura 12 – Frame v2 PETG HY 30N 68
Figura 13 – Frame v3 PETG HX 30N 68
Figura 14 – Hélice 70
Figura 15 – Entradas 71
Figura 16 – Resultados 71
Figura 17 – Geometria Montada Vista Isométrica 75
Figura 18 – Geometria Montada Vista Lateral 75
Figura 19 – Geometria Montada Vista Superior 76
Figura 20 – Geometria Montada Vista Inferior 76
Figura 21 – Perfil 30303 PETG HX 8,62N 77
Figura 22 – Frame v3 PETG HX 8,62N 77
Figura 23 – Geometria Montada PETG HX 8,62N 78
Figura 24 – Carcaça da Central de Controle 79
Figura 25 – Vista Frontal da Central de Controle 80
Figura 26 – Vista Lateral da Central de Controle 80
Figura 27 – Diagrama de casos de uso do mapeamento 86
Figura 28 – Diagrama de casos de uso da situação de emergência 87
Figura 29 – Diagrama de casos de uso do retorno autônomo 88
Figura 30 – Diagrama de Atividades 88
Figura 31 – Diagrama de classes 89
Figura 32 – Representação de retorno com obstáculo 92
Figura 33 – Diagrama de integração dos subsistemas 95
Figura 34 – Braço do drone 109
Figura 35 – Case do drone 110
Figura 36 – Apoio do drone 111

Figura 37 – Suporte da câmera 112
Figura 38 – Suporte do servo motor 113
Figura 39 – Central de Controle 114
Figura 40 – Diagrama Esquemático da Central de Controle 116
Figura 41 – Circuito abaixador de tensão e resultado de sua simulação. 117
Figura 42 – Circuito do divisor resistivo e o resultado de sua simulação. 118
Figura 43 – Diagrama Esquemático do Drone 119
Figura 44 – Circuito utilizado para desenvolvimento da PCI para a central de controle. 120
Figura 45 – PCI desenvolvida para a central de controle 120
Figura 46 – Circuito utilizado para desenvolvimento da PCI para o drone. 121
Figura 47 – PCI desenvolvida para o drone 121
Figura 48 – Diagrama Unifilar do Sistema de Carregamento Off-Grid 125
Figura 49 – Marcação dos principais partes presentes no drone 133
Figura 50 – Marcação das principais partes presentes na central de controle 134

Lista de tabelas

Tabela 1 – Matriz de riscos . . . 18
Tabela 2 – Tabela de impacto de risco . . . 19
Tabela 3 – Tabela de probabilidade de risco . . . 19
Tabela 4 – Cronograma Geral . . . 24
Tabela 5 – Componentes Eletrônicos Utilizados para Adaptação da Tensão de Alimentação para os Componentes Eletrônicos . . . 32
Tabela 6 – Consumo de Energia na Missão . . . 48
Tabela 7 – Custos do Sistema de Carregamento Off-Grid . . . 49
Tabela 8 – Matriz de decisão para modelo estrutural . . . 53
Tabela 9 – Propriedades Matéria Prima - Grãos . . . 55
Tabela 10 – Resultados ensaios em corpos de provas impresso . . . 55
Tabela 11 – Peso dos componentes eletrônicos presentes no drone . . . 56
Tabela 12 – Propriedades Ortotrópicas . . . 58
Tabela 13 – Dimensões do Mac 2 Pro . . . 60
Tabela 14 – Resultados das Simulações dos Braços com ABS H = x; V = y; F = z 62
Tabela 15 – Resultados das Simulações dos Braços com ABS H = y; V = x; F = z 62
Tabela 16 – Resultados das Simulações dos Braços com PETG H = x; V = y; F = z 63
Tabela 17 – Resultados das Simulações dos Braços com PETG H = y; V = y; F = z 63
Tabela 18 – Resultados das Simulações dos Frames com ABS H = x; V = y; F = z 66
Tabela 19 – Resultados das Simulações dos Frames com ABS H = y; V = x; F = z 66
Tabela 20 – Resultados das Simulações dos Frames com PETG H = x; V = y; F = z 67
Tabela 21 – Resultados das Simulações dos Frames com PETG H = y; V = y; F = z 67
Tabela 22 – Entradas . . . 72
Tabela 23 – Motor e hélice . . . 73
Tabela 24 – Resultados simulação E-calc . . . 73
Tabela 25 – Resultados das simulações da geometria otimizada . . . 77
Tabela 26 – Convergência da malha do braço otimizado . . . 78
Tabela 27 – Convergência da malha do frame v3 . . . 79
Tabela 28 – Convergência da malha da geometria montada . . . 79
Tabela 29 – Requisitos Funcionais . . . 105
Tabela 30 – Requisitos não Funcionais . . . 105
Tabela 31 – Backlog de software . . . 106
Tabela 32 – Casos de uso . . . 108
Tabela 33 – Consumo dos componentes eletrônicos do drone. . . . 123
Tabela 34 – Consumo de potência dos motores do drone. . . . 123
Tabela 35 – Componentes para fixação na estrutura . . . 130

Tabela 36 – Especificações Técnicas 132
Tabela 37 – Especificações Técnicas da Central de Controle 132
Tabela 38 – Contribuição dos Membros - Eletrônica 138
Tabela 39 – Contribuição dos Membros - Estrutura 139
Tabela 40 – Contribuição dos Membros - Software 140
Tabela 41 – Contribuição dos Membros - Energia 141

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	*Associação Brasileira de Normas Técnicas*
ABS	*Acrilonitrila Butadieno Estireno*
I^2C	*Inter Integrated Circuit*
NBR	*Norma Brasileira*
PLA	*Poliácido láctico*
PETG	*Politereftalato de etileno*
PEEK	*Poli(éter-éter-cetona)*
PWM	*Pulse Width Modulation*
v1	*Versão 1*
v2	*Versão 2*
v3	*Versão 3*
HX	*Quando "H" representa a direção "x"*
HY	*Quando "H" representa a direção "y"*
2D	*2 Dimensões*
3D	*3 Dimensões*
UART	*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*
CAD	*Channel Activity Detection*
LBT	*Listen Before Transmission*
LTE	*Long Term Evolution*
CSS	*Chirp Spread Spectrum*
LoRa	*Long Range*
LPWAN	*Low Power Wide Area Network*
IRQ	*Interrupt Request*
STC	*Condições Padrões de Teste*

Lista de símbolos

A	Ampère
Ah	Ampère-hora
cm	Centímetro
Cc	Consumo calculado
Ci	Consumo ideal
Cb	Corrente calcula para bateria
Cca	Corrente calculada para o controlador de carga
$ShoreD$	Escala de dureza
Ft	Fator de correção
g	Grama
g/W	Grama por Watt
$^{\circ}C$	Grau Celsius
Mtu	Maior tempo de uso do equipamento
MPa	Megapascal
m	Metro
m/s	Metro por Segundo
mm	Milímetros
I_{xx}	Momento de Inércia em Relação ao Eixo x
I_{yy}	Momento de Inércia em Relação ao Eixo y
I_{zz}	Momento de Inércia em Relação ao Eixo z
N	Newton
P	Potência
Pmf	Potência do módulo fotovoltaico

kg	Quilograma
$R\$$	Real
rpm/V	Rotações por Minuto por Volts
σ	Tensão
σadm	Tensão Admissível
Vca	Tensão em Corrente Alternada
Vcc	Tensão em Corrente Contínua
σesc	Tensão de Escoamento
$\sigma encont$	Tensão Encontrada na Simulação
Ohm	Unidade de medida de Resistência Elétrica
V	Volt
Δ	Variação
W	Watt
Wh	Watt-hora
Wp	Watt-pico

Sumário

1 INTRODUÇÃO . . . 14
1.1 Objetivo geral . . . 15
1.1.1 Objetivos Específicos . . . 15
1.2 Apresentação do projeto . . . 15

2 PLANEJAMENTO . . . 16
2.1 Justificativa . . . 16
2.2 Objetivo . . . 16
2.3 Descrição Resumida do Projeto . . . 16
2.4 Requisitos Gerais . . . 16
2.5 Stakeholders . . . 17
2.6 Restrições . . . 17
2.7 Premissas . . . 17
2.8 Matriz de riscos . . . 18
2.8.1 Tabela de impacto . . . 19
2.8.2 Tabela de probabilidade . . . 19
2.8.3 Riscos . . . 19
2.9 Ferramentas . . . 21
2.10 Estrutura Analítica do Projeto (EAP) . . . 22
2.11 Organograma . . . 23
2.12 Cronograma Geral . . . 24

3 ELETRÔNICA . . . 25
3.1 Definição de Componentes . . . 25
3.1.1 Central de Controle . . . 25
3.1.2 Drone . . . 28
3.2 Interconexão dos Componentes . . . 32
3.2.1 Comunicação Entre Os Módulos . . . 32
3.2.1.1 Central de Controle . . . 32
3.2.1.2 Drone . . . 34
3.2.2 Esquemáticos Eletrônicos . . . 36
3.3 Plano de Montagem . . . 36
3.4 Códigos de Programação do Sistema Embarcado . . . 37
3.4.1 Módulo LoRa . . . 37
3.4.2 Módulo LiDAR . . . 37
3.4.3 Conversor AD . . . 37

3.4.4 Câmera . . . 38
3.4.5 Controlador ESC . . . 38
3.4.6 Push-button . . . 38
3.4.7 Sensores . . . 38
3.4.8 Servo-motor . . . 39
3.5 Plano de Testes . . . 39
3.5.1 Teste de componentes . . . 39
3.5.1.1 Joysticks e conversor AD . . . 39
3.5.1.2 Chaves tácteis . . . 40
3.5.1.3 Módulo LoRa . . . 40
3.5.1.4 RaspBerry Pi . . . 41
3.5.1.5 Câmera . . . 41
3.5.1.6 Sensor Lidar e adaptador UART-USB . . . 42
3.5.1.7 Servo motor . . . 43
3.5.1.8 Pololu-Altimu v5 . . . 43
3.5.1.9 Servo motor . . . 43
3.5.1.10 Controlador ESC e motor BLDC . . . 44
3.5.2 Teste de Subsistemas . . . 45

4 ENERGIA . . . 46
4.1 Sistema de Carregamento Off-Grid . . . 46
4.1.1 Módulo Fotovoltaico . . . 46
4.1.2 Controlador de Carga e Inversor . . . 46
4.2 Bateria do Drone . . . 46
4.3 Aplicação no Projeto do Sistema de Carregamento Off-Grid . . . 48
4.3.1 Custos da Área de Energia . . . 49

5 ESTRUTURA . . . 50
5.1 Modelo estrutural . . . 50
5.1.1 Asa Rotativa ou Multirotor . . . 50
5.1.2 Asa Fixa . . . 51
5.2 Material da estrutura . . . 53
5.2.1 ABS . . . 53
5.2.2 PLA . . . 54
5.2.3 PETG . . . 54
5.2.4 PEEK . . . 54
5.3 Dimensionamento do peso . . . 56
5.4 Otimização da estrutura . . . 56
5.5 Simulação para análise estrutural . . . 57
5.5.1 Método dos elementos finitos: . . . 57

5.5.2 Critério de falha: . . . 57
5.5.2.1 Falha por carregamento estático: . . . 57
5.5.2.1.1 Teoria da Tensão Normal Máxima (TNM) . . . 58
5.5.2.1.2 Teoria da Energia de Distorção (TED) . . . 58
5.5.3 Material ortotrópico . . . 58
5.5.4 Malha . . . 59
5.6 Braço do drone . . . 59
5.6.1 Simulações do braço . . . 60
5.6.2 Resultados . . . 61
5.6.3 Escolha do Braço . . . 63
5.6.3.1 Geometria . . . 63
5.6.3.2 Material . . . 64
5.6.3.3 Direções Ortotrópicas . . . 64
5.6.3.4 Fator de segurança . . . 64
5.7 Frame . . . 65
5.7.1 Resultados . . . 65
5.7.2 Geometria . . . 67
5.7.3 Material . . . 67
5.7.4 Direções Ortotrópicas . . . 69
5.7.5 Fator de Segurança . . . 69
5.8 Autonomia de voo . . . 69
5.8.1 Motores e hélices . . . 69
5.9 Análise analítica . . . 73
5.9.1 Empuxo . . . 73
5.9.2 Força de empuxo . . . 74
5.10 Geometria otimizada . . . 74
5.11 Validação da geometria otimizada . . . 77
5.12 Central de controle . . . 79
5.13 Classificação do drone . . . 80
5.13.1 Regulamentação . . . 81
5.14 Definições de normas . . . 82

6 SOFTWARE . . . 84
6.1 Arquitetura de Software . . . 84
6.1.1 Finalidade . . . 84
6.1.2 Escopo . . . 84
6.1.3 Dispositivos e serviços . . . 84
6.1.4 Visão Geral . . . 85
6.1.5 Casos de uso . . . 85
6.1.6 Visão Lógica . . . 88

6.1.7 Visão da Implementação 89
6.1.7.1 Diagrama de classes 89
6.1.7.2 Algoritmos 90
6.1.7.2.1 Modelo baseado em blockchain 90
6.1.7.2.2 Processamento de pontos para imagens 90
6.1.7.2.3 Mapeamento 91
6.1.7.2.4 Situação de emergência 91
6.1.7.2.5 Retorno ao local onde ocorreu a emergência 92
6.2 Arquitetura da Informação 92
6.3 Inovação 93

7 INTEGRAÇÃO 94

REFERÊNCIAS 96

APÊNDICES 103

APÊNDICE A – SOFTWARE 104
A.0.1 Principais decisões de software 104
A.0.2 Requisitos de Software 104
A.0.3 Backlog 106
A.0.4 Tabela de casos de uso 108

APÊNDICE B – VISÕES 2D DO DRONE E DA CENTRAL DE CONTROLE 109

APÊNDICE C – ESQUEMÁTICOS ELETRÔNICOS 115

APÊNDICE D – PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO 120

APÊNDICE E – DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CARREGAMENTO OFF-GRID 122
E.0.1 Dimensionamento da bateria do drone 123

APÊNDICE F – MANUAL DE FABRICAÇÃO DO DRONE E DE SUA CENTRAL DE CONTROLE 126
F.0.1 Orientações gerais para uso de uma impressora 3D 126
F.0.2 Orientações específicas para a impressão do DAMTE 127
F.0.3 Orientações específicas para a impressão da central de controle 127

APÊNDICE G – MANUAL DE MONTAGEM DA CENTRAL DE CONTROLE 129

G.0.1 Geral 129
G.0.1.1 Características do equipamento 129
G.0.1.1.1 Características técnicas 129
G.0.2 Montagem 129
G.0.2.1 Posicionamento dos componentes na estrutura 130

APÊNDICE H – MANUAL DE USUÁRIO 131
H.1 Introdução 131
H.2 Principais Recursos 131
H.3 Especificações Técnicas da Aeronave 132
H.4 Especificações Técnicas da Central de Controle 132
H.5 Itens da Aeronave 133
H.6 Itens e da Central de Controle e operação do equipamento 133
H.7 Recursos de Segurança: 135
H.7.1 Caso 1: Perda de Sinal 135
H.7.2 Caso 2: Baixo Nível de Bateria 135
H.7.3 Caso 3: Ativação Manual 135
H.8 Carregando a bateria do drone 135
H.9 Carregando a central de controle 135
H.10 Conservação e Manutenção 136
H.10.1 Conservação 136
H.10.2 Manutenção 136

APÊNDICE I – AUTO AVALIAÇÃO 138

1 Introdução

Drone é o nome dado a um veículo aéreo não tripulável que é controlado por um usuário a curtas, médias ou longas distâncias (PRUDKIN; BREUNIG, 2019). Nos últimos anos drones se tornaram itens populares no dia a dia, uma tecnologia até então restrita a operações militares ganhou notoriedade no grande público fazendo parte do cotidiano de civis.

Em suas aplicações militares, em geral, drones começaram a ser utilizados para levar suprimentos e no auxílio de vigilância em períodos de guerra, mas com a expansão de pesquisas e tecnologias começou a ganhar incrementos que moldaram os modelos de drones que muitos conhecem hoje, sempre acompanhados por um controle remoto moderno, uma câmera de alta resolução, podendo ser operados por usuários com o básico de entendimento sobre o hardware para realização de captação de imagens em altura.

Os drones se tornaram ferramentas de auxílio a proteção ambiental, filmagens cinematográficas e recreação (FERREIRA, 2017). Um outro segmento o qual os drones estão aparecendo são as entregas domiciliares. Em Agosto de 2020 foi divulgado pela Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos que a empresa Amazon recebeu autorização para operar sua frota de drones para entrega, Prime Air, para realizar o transporte de pequenas encomendas (PALMER, 2020). Alguns exemplos de uso no Brasil podem ser vistos no WWF-Brasil, uma ONG com trabalho voltado ao incentivo a conservação da biodiversidade, que utiliza drones para realizar monitoramento em territórios na Amazônia e no Cerrado. E em 2020 passou a utiliza-los no auxílio a proteção contra o desmatamento e queimadas na região do pantanal.(WWFBRASIL, 2021)

Com essas aplicações é possível ver que a tecnologia presente nesses veículos pode continuar a ser ampliada para além de mapeamento de áreas de proteção ambiental e usos militares, os drones também pode ter seu uso expandido para outros nichos, um deles é a busca e reconhecimento. Em 2019 após o rompimento da barragem do Vale do Córrego do Feijão, em Brumadinho, Minas Gerais, a aeronáutica convocou operadores de drones para auxiliarem na leitura da área diante da quantidade reduzida de helicópteros no início da operação (ITARC, 2019).

1.1 Objetivo geral

Construir um drone para mapeamento de terrenos em situações de busca e reconhecimento.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Auxiliar o panejamento e atuação de equipes de resgate com o mapeamento realizado pelo drone.
- Garantir que o drone tenha autonomia no caso de perca de contato com a central de controle.
- Projetar um sistema de carregamento off-grid para central de controle.

1.2 Apresentação do projeto

O projeto Damte, abreviação de drone auxiliar de mapeamento terrestre, traz a proposta de apresentar um modelo de drone quadricóptero auxiliar que poderá ser controlado por equipes de resgate para mapeamento de regiões de risco durante missões de busca e reconhecimento.

O Damte é formado por:

- Drone
- Central de controle
- Sistema de carregamento off-grid

As informações captadas pelo drone durante o voo quando enviadas para central de controle poderão ser agrupadas e criar mapas 3D da região de resgate. Com o mapeamento realizado pelo drone espera-se que as equipes possam traçar rotas de atuação com as informações fornecidas para a central de controle no intervalo entre voos, garantindo mais segurança na missão.

O sistema de carregamento off-grid é uma garantia de que mesmo com o drone atuando em regiões isoladas ou com falta de suprimentos, a central de controle possa ser mantida em funcionamento.

2 Planejamento

2.1 Justificativa

Missões de salvamento exigem de equipes de resgate adaptação aos mais diferentes cenários, sejam eles escombros, inundações, deslizamentos de terra, profundidades e entre outros. Cenários que desafiam a capacidade do corpo humano, mas que podem ser contornados pelo uso de tecnologia, como drones, para aumentar a rapidez e eficiência da missão.

2.2 Objetivo

Projetar um drone para mapeamento de terrenos em situações de busca e reconhecimento.

2.3 Descrição Resumida do Projeto

O projeto Damte traz a proposta de apresentar um modelo de drone auxiliar que poderá ser controlado por equipes de resgate para mapeamento de regiões de risco durante missões de busca. Com o mapeamento realizado pelo drone espera-se que as equipes possam traçar rotas de atuação com as informações fornecidas para o controlador no intervalo entre voos, garantindo mais segurança na missão. O Damte será composto por um drone, controlador, e um sistema de carregamento off-grid, que poderá ser utilizado para manter o funcionamento da central de controle em situações extremas, como regiões isoladas ou falta de suprimentos.

2.4 Requisitos Gerais

- O drone tem que servir de apoio às equipes de resgate;
- O drone precisa coletar dados para reprodução de terrenos em 3D;
- O drone precisa ter estrutura que preserve seus os sensores;
- O drone precisa ser otimizado para alcance e tempo de voo;
- O drone precisa ter a estrutura leve para maximizar durabilidade;
- O drone precisa ter medidas de segurança para caso haja perda de sinal;

- A central de controle precisa se comunicar com o drone;
- A central de controle precisa ser otimizada para um maior alcance;
- A central de controle precisa manter um nível de estabilidade na comunicação;
- A central de controle precisa apresentar uma interface;
- A central de controle precisa ter um controle de fácil manuseio;
- A central de controle precisa reunir os dados e apresentá-los ao controlador;

2.5 Stakeholders

- Bombeiros Civis
- Defesa Civil
- Populações atingidas por situações adversas que necessitem de equipes de resgate

2.6 Restrições

- A comunicação entre o drone e a central possui um alcance limitado;
- O drone perde atuação em condições climáticas: alta velocidade de ventos e tempestades;
- O drone possui restrições de bateria;

2.7 Premissas

- O drone sempre poderá mapear terrenos;
- O drone conseguirá retornar a base em caso de perca de contato;
- O drone terá telemetria para sua altura, aceleração, inclinação e pressão;
- A central de controle deve ser portátil;
- A central de controle deve ser carregada pelo sistema de carregamento off grid quando necessário;

2.8 Matriz de riscos

A Matriz de Riscos ou Matriz de Probabilidade e Impacto é uma ferramenta de gerenciamento de riscos que permite de forma visual identificar quais são os riscos que devem receber mais atenção. Por se tratar de uma ferramenta para priorização de riscos, ela pode ser aplicada na etapa de avaliação de riscos. Dessa forma, a identificação dos riscos é uma etapa que deve ser feita antes da aplicação da ferramenta.(NAPOLEãO, 2019)

O grande diferencial da Matriz de Riscos é a facilidade que ela proporciona para visualizar informações sobre um determinado conjunto de riscos. Por se tratar de uma ferramenta gráfica, se torna fácil identificar quais riscos irão afetar menos ou mais a organização, possibilitando a tomada de decisões e a realização de medidas preventivas para tratar esses riscos. Além disso, por ser uma ferramenta de fácil entendimento e por dispor informações de forma clara e precisa, colabora com engajamento da equipe no processo de gestão de riscos.(NAPOLEãO, 2019)

A matriz de risco consiste em uma matriz (tabela) orientada por duas dimensões: probabilidade e impacto. Por meio dessas duas dimensões, é possível calcular e visualizar a classificação do risco, que consiste na avaliação do impacto versus a probabilidade. (NAPOLEãO, 2019)

Abaixo está representada na tabela 1 a matriz de riscos referente ao projeto Damte.

Tabela 1 – Matriz de riscos

Impacto / **Probabilidade**	**Baixo**	**Médio**	**Alto**
Rara		Risco 08	Risco 01
Baixa	Risco 06	Risco 07	Risco 05
Média	Risco 03 Risco 04	Risco 02	

Fonte: Autoria própria

2.8.1 Tabela de impacto

Tabela 2 – Tabela de impacto de risco

Descrição	**Impacto**
Impacto baixo, risco reversível em curto e médio prazo com custos pouco significativos	Baixo
Impacto médio, risco reversível em curto e médio prazo com custos baixos.	Médio
Impacto alto, risco reversível em curto e médio prazo com custos altos.	Alto

Fonte: Autoria própria

2.8.2 Tabela de probabilidade

Tabela 3 – Tabela de probabilidade de risco

Descrição	**Probabilidade**
Rara	1% a 10%
Baixa	11% a 35%
Média	36% a 60%
Alta	61% a 85%

Fonte: Autoria própria

2.8.3 Riscos

- Risco 01: Saída de membro da equipe
  - Probabilidade: Rara
  - Impacto: Alto
  - Origem: Organizacional
  - Plano de mitigação: Manter boa comunicação com a equipe em relação a impedimentos e sobrecarga.
  - Plano de contingência: Alocar tarefas do integrante que saiu para pessoas quetenham capacidade de realizar tais tarefas no espaço de tempo restante baseadoem afinidade com a tarefa e tempo disponível.
- Risco 02: Falha de comunicação entre diretorias
  - Probabilidade: Média
  - Impacto: Médio

  - Origem: Organizacional
  - Plano de mitigação: Tentar incentivar a equipe via meios de comunicação utilizados pelo grupo.
  - Plano de contingência: Organizar reunião para esclarecer possíveis problemas e conflitos.

- Risco 03: Tempo insuficiente para entrega
  - Probabilidade: Baixa
  - Impacto: Médio
  - Origem: Organizacional
  - Plano de mitigação: Distribuição correta do trabalho e comprometimento dos integrantes responsáveis
  - Plano de contingência: As diretorias são responsáveis por organizar e gerenciar seus prazos, caso seja necessário podem alterar com aviso prévio, respeitando o prazo geral de entrega.

- Risco 04: Sobrecarga de demanda
  - Probabilidade: Baixa
  - Impacto: Médio
  - Origem:Organizacional
  - Plano de mitigação: Planejamento conciso às atividades, competências e capacidades da equipe
  - Plano de contingência: Reorganização das atividades dentro da diretoria e, se necessário, retirada de atividades.

- Risco 05: Mudança no escopo
  - Probabilidade: Baixa
  - Impacto: Alto
  - Origem: Organizacional
  - Plano de mitigação: Fazer um planejamento com o mínimo de falhas possíveis e que deixe espaço para reagendamentos e mudanças caso necessário.
  - Plano de contingência: Se for identificado que é necessário realizar alguma mudança no escopo do projeto deve ser realizada uma reunião geral com toda equipe do projeto, e pro-posta deve ser aprovada pela maioria simples e em seguida apresentada aos professores.

- Risco 06: Falta do mínimo de lumens para reconhecimento do terreno
  - Probabilidade: Baixa
  - Impacto: Baixo
  - Origem: Projeto
  - Plano de mitigação: Estudo da implementação de uma luminária portátil movida a bateria independente do sistema
  - Plano de contingência: Mudança de posição para um ângulo onde seja possível captar lumens dos corpos celestes para reconhecimento visual
- Risco 07: Alto consumo dos componentes da bateria
  - Probabilidade: Baixa
  - Impacto: Médio
  - Origem: Projeto
  - Plano de mitigação: Procura de componentes de baixo consumo que atendam aos requisitos mínimos do sistema.
  - Plano de contingência: Utilização de baterias com maior capacidade, aumentando a duração de sua carga.
- Risco 08: Ambientes com alta interferência de dados
  - Probabilidade: Rara
  - Impacto: Grande
  - Origem: Projeto
  - Plano de mitigação: Utilização de transceptor em uma faixa de frequência onde haja menos interferências.
  - Plano de contingência: Desenvolvimento de sistema de amplificação e filtragem do sinal para diminuir influência das interferências

2.9 Ferramentas

Durante a realização do projeto, foram utilizadas algumas ferramentas para auxiliar tanto o processo de desenvolvimento quanto o de planejamento. Essas ferramentas estão listadas a seguir.

- Overleaf: Editor LaTeX colaborativo baseado em nuvem usado para escrever, editar e publicar documentos científicos (OVERLEAF, 2020).

- Github: Plataforma de hospedagem de código-fonte e arquivos com controle de versão usando o Git (GITHUB, 2020). Os arquivos utilizados no projeto podem ser encontrados neste repositório.
- LucidChart: Plataforma online para criação de diagramas e fluxogramas (LUCIDCHART, 2021).
- CATIA: Software utilizado para modelagem 3D, aplicações de design usado nas áreas de engenharia (DASSAULTSYSTEMES, 2020a).
- ANSYS: Software destinado a todos os campos da engenharia que requerem a simulação no desenvolvimento de produtos e processos (ESSS, 2020).
- E-Calc: Software utilizado para avaliar e projetar motores elétricos e hélices para drones (ECALC, 2020).
- SOLIDWORKS: Software utilizado para modelagem 3D, aplicações de design usado nas áreas de engenharia (DASSAULTSYSTEMES, 2020b).

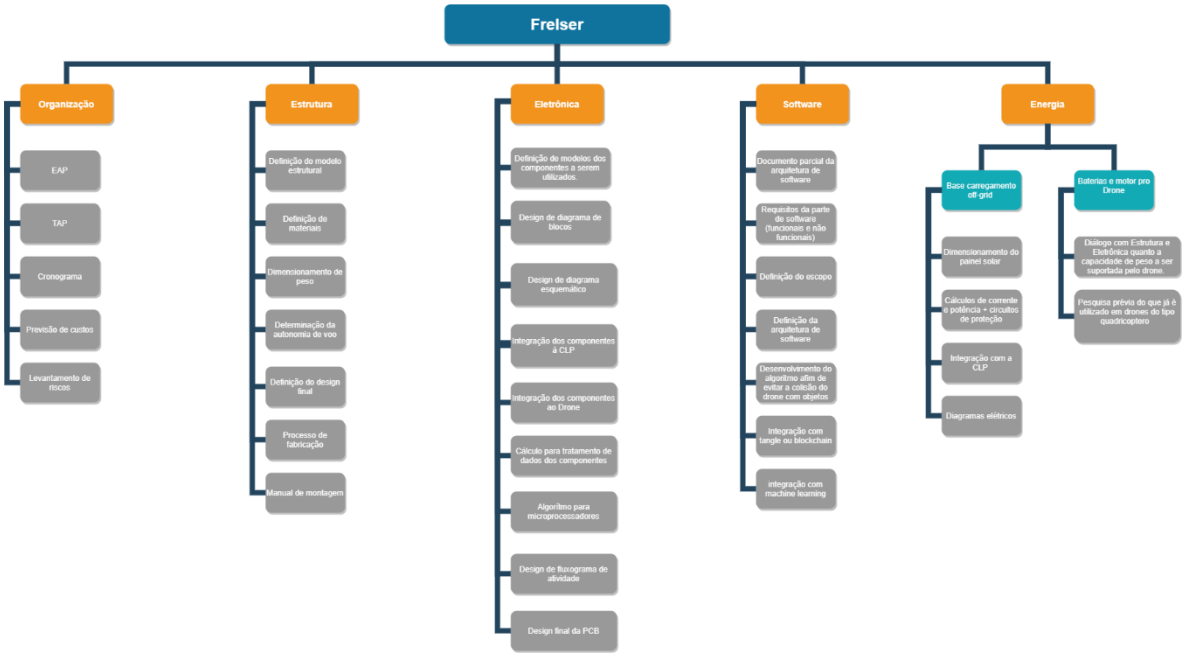
2.10 Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

A EAP é uma subdivisão hierárquica do trabalho do projeto em partes menores, mais facilmente gerenciáveis. Seu objetivo primário é organizar o que deve ser feito para produzir as entregas do projeto (JUSTO, 2018).

Abaixo está representada na figura 1 a EAP referente ao projeto Damte, e nela pode-se observar a divisão de tarefas por área adotada pelo grupo que consiste em:

- Organização ou planejamento
- Estrutura
- Eletrônica
- Energia
- Software

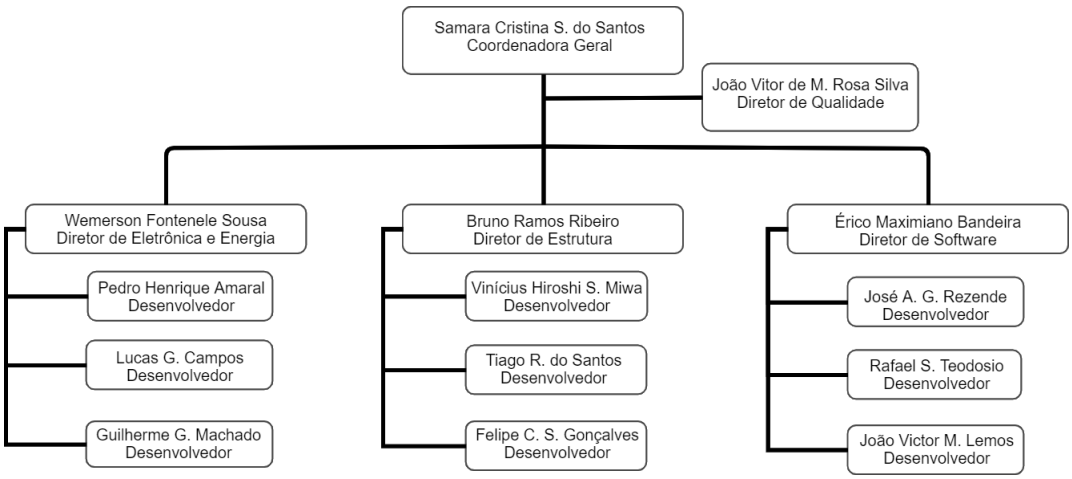
Figura 1 – Estrutura Analítica do Projeto.



Fonte: Autoria própria

2.11 Organograma

Figura 2 – Organograma.



Fonte: Autoria própria

2.12 Cronograma Geral

Tabela 4 – Cronograma Geral

Área	**Atividade**	**Entrega**
Planejamento	EAP	Ponto de Controle 1
	TAP	Ponto de Controle 1
	Cronograma Geral	Ponto de Controle 1
	Previsão de Custos	Ponto de Controle 1
	Levantamento de riscos	Ponto de Controle 1
Energia	Reunião com Estrutura e Eletrônica quanto a capacidade de peso a ser suportada pelo drone.	Ponto de Controle 2
	Dimensionamento da bateria para o drone	Ponto de Controle 2
	Dimensionamento do Painel Solar	Ponto de Controle 2
	Diagramas Unifilares	Ponto de Controle 2 e 3
	Integração com a central de controle	Ponto de Controle 3
Estrutura	Definição do modelo estrutural	Ponto de Controle 1
	Determinação de materiais	Ponto de Controle 1
	Definição do design final	Ponto de Controle 2
	Dimensionamento do peso	Ponto de Controle 2
	Determinação da autonomia de voo	Ponto de Controle 2
	Processo de fabricação	Ponto de Controle 3
	Manual de montagem	Ponto de Controle 3
Eletrônica	Definição de modelos dos componentes a serem utilizados.	Ponto de Controle 1
	Design de diagrama de blocos	Ponto de Controle 2
	Design de diagrama esquemático	Ponto de Controle 2
	Integração dos componentes à central de controle	Ponto de Controle 2
	Integração dos componentes ao Drone	Ponto de Controle 2
	Cálculo para tratamento de dados dos componentes	Ponto de Controle 3
	Algoritmo para microprocessadores	Ponto de Controle 3
	Design de fluxograma de atividade	Ponto de Controle 3
	Design final da PCB	Ponto de Controle 3
Software	Definição do escopo	Ponto de Controle 1
	Definição da arquitetura de software	Ponto de Controle 2
	Definição das funções e algoritmos a serem desenvolvidos	Ponto de Controle 2
	Integração com eletrônica	Ponto de Controle 3
	Desenvolvimento de códigos	Ponto de Controle 3

Fonte: Autoria própria

3 Eletrônica

A área de eletrônica tem participação em duas frentes do projeto, o drone e a central de controle. Ficando responsável por definir os componentes que melhor se adequem ao projeto, e através das especificações destes, trabalhar na interconexão dos componentes, definindo os protocolos de comunicação utilizados, assim como qualquer adaptação necessária para a a realização destas interconexões. Além disso, a área de eletrônica trabalhará, integrada à área de software, no desenvolvimento dos códigos de programação necessários para a finalização do projeto, sempre visando atender os requisitos de comunicação e controle, além da captação e apresentação de dados.

3.1 Definição de Componentes

Com a exceção do transceptor escolhido para a realização da comunicação entre a central de controle e o drone, os componentes foram definidos separadamente para cada uma das frentes, sempre tendo em mente atingir os requisitos do projeto.

3.1.1 Central de Controle

A central de controle teve seus componentes definidos visando disponibilizar uma boa interface para o usuário, uma boa capacidade de processamento e comunicação com o drone. Para tanto, a escolha de componentes foi dividida em duas etapas, sendo elas interface e computador e comunicação, como estão melhor explicados abaixo:

Interface: Parte responsável pela apresentação dos dados recebidos do drone, além da disponibilização de componentes para o controle deste, ou dos dados a serem apresentados. Para tal parte, foram escolhidos como componentes eletrônicos:

- Monitor Portátil Eyoyo S801H - 8": Será o componente responsável pela apresentação de dados ao usuário da central de controle, contando com uma tela de 8 polegadas, proporção de tela 4:3, e resolução 1024x768 (EYOYO, 2019). Sendo escolhido principalmente devido ao seu tamanho médio, que gera praticidade na movimentação da central, mas sem dispensar um tamanho e resolução bons o suficiente para que seja possível a visualização dos dados recebidos do drone, sem perda de detalhes. Este monitor portátil possui como principais características:
  - **Proporção de Tela:** 4:3;
  - **Resolução:** 1024x768;
  - **Interface de Comunicação:** HDMI;

  - **Alimentação:** 5 [V], via entrada USB;
  - **Potência máxima consumida:** 1 [W];
  - **Preço:** R$ 399,90.

- Chaves tácteis KFC-A06: Que funcionam de maneira a abrir ou fechar um circuito, dependendo do fato de um botão presente em seu centro ser pressionado ou não (DAIER, 2017). Este será então utilizado para enviar comandos diretos, como a seleção dos dados a serem apresentados no *display*, devido à sua praticidade, baixo custo e confiabilidade. Este componente possui como principais características:

  - **Tensão de Operação:** 1-12 [V];
  - **Contatos:** 1 contato normalmente aberto (NA);
  - **Corrente máxima:** 50 [mA];
  - **Preço:** R$ 0,12.

- Módulo *joystick* KY-023: Que se trata de um módulo que possui dois potenciômetros que variam sua resistência gradualmente a depender de uma movimentação em uma espécie de manche vertical posicionado em seu centro, sendo esses movimentos direcionais, positivos ou negativos, nos eixos de coordenadas cartesianas X e Y, com sua saída variando a depender da intensidade dessa movimentação, além de possuir um botão de pressão em seu centro, que pode ser pressionado para o controle de movimentações no eixo Z, ou ativação de qualquer outra função (JOY-IT, 2017). Sendo assim, este módulo foi escolhido por permitir o controle da movimentação do drone da maneira que o usuário desejar. Este componente possui como principais características:

  - **Interface de Comunicação:** Pinos analógicos para movimentos direcionais, e pino digital para botão central;
  - **Alimentação:** 3,3 - 5 [V];
  - **Preço:** R$ 6,90.

Unidade de Controle e Comunicação: Esta parte é responsável por realizar a comunicação com o drone para controle deste, e recepção dos dados obtidos, trabalhando integrada a interface da central de controle para realizar esta tarefa. Para a escolha dos componentes desta parte, foram priorizados como controlador central um computador com boa capacidade de processamento, visto que seria necessário o processamento dos dados do sensor Lidar obtidos pelo drone para recriação da área mapeada, além do armazenamento destes dados e a capacidade de suportar as interfaces de comunicação dos demais componentes apresentados, e como comunicador, foi priorizado um comunicador

que permitia uma comunicação a um longo alcance, com um baixo consumo de potência. Para tal parte, foram escolhidos como componentes eletrônicos:

- Raspberry PI 3B+: Se trata de um computador reduzido, integrado em uma única placa, possuindo entradas HDMI, USB, além de pinos como portas próprias para comunicação com dispositivos eletrônicos, além disso, possui uma processador quad-core trabalhando na frequência de 1.4 GHz, e 1 GB de memória RAM (RASPBERRY.ORG, 2018). Devido à esses fatores, esta placa foi escolhida, pois atende às necessidades de uma boa capacidade de processamento para trabalhar com imagens, além de uma conexão com os demais componentes eletrônicos facilitada devido às suas entradas próprias para tal. Este componente possui como principais características:
  - **Alimentação:** 5 [V];
  - **Potência máxima consumida:** 12,5 [W];
  - **Preço:** R$ 429,90.
- Conversor analógico digital (AD) CJMCU- ADS1015: Se trata de um módulo baseado no chip conversor analógico digital de 12 bits de precisão da Texas Instruments (TI). Um conversor analógico digital se trata de um sistema que converte um sinal analógico em um sinal digital quantizando os valores analógicos em um equivalente digital, representados por uma determinada quantidade de bits, onde cada bit representa uma casa do valor analógico (INSTRUMENTS, 2018). Possuindo, entretanto, alguns pontos que afetam a precisão dessa representação digital do sinal, sendo que para este trabalho, a principal influência é a incerteza de quantização, que ocorre devido ao número limitado de bits para representar o valor analógico, o que faz com que valores muito pequenos não possam ser representados, e esta incerteza é de ±50% do bit menos significativo, ou *least significative bit* (LSB), que pode ser calculado pela equação 3.1.1, onde n é o número de bits do conversor, e V_{ET} é a tensão de entrada de escala total (INSTRUMENTS, 2015). Um conversor se faz necessário para realizar a interconexão entre a Raspberry PI e os potenciômetros do módulo joystick, pois estes tem em suas saídas sinais analógicos, e a Raspberry PI só possui entradas digitais. Este módulo em específico foi escolhido por possuir 12 bits de precisão, o que resulta em um baixo LSB, e quatro entradas analógicas, removendo a necessidade do uso de múltiplos dispositivos de conversão.

$$LSB = \frac{V_{ET}}{2^n} \ [V] \tag{3.1}$$

Este componente possui como principais características:

  - **Interface de Comunicação:** I2C;
  - **Alimentação:** 3,3 [V];
  - **Potência máxima consumida:** 4,95 [μW];
  - **Preço:** R$ 40,76.

- Módulo Raspberry PI Long Range (LoRa) HAT SX1262 915MHz: que se trata de um módulo de encaixe próprio para placas Raspberry PI, que possui como principal componente o chip transceptor SX1262 que possui um alcance de até 5Km (WAVESHARE, 2020). Sendo que seu transceptor trabalha na frequência de 915 MHz, utilizando-se da técnica de modulação LoRa, que permite sua aplicação em comunicações de longo alcance, com baixo consumo energético, sendo este estimado como sendo 13 [mW] quando ativo (SEMTECH, 2019). Com isso, temos que este módulo atende as principais necessidades do projeto, que são um bom alcance na comunicação, e um baixo consumo energético. Este componente possui como principais características:

  - **Interface de Comunicação:** UART;
  - **Frequência de Comunicação:** 915 [MHz];
  - **Alcance máximo:** 5 [km];
  - **Alimentação:** 5 [V];
  - **Potência máxima consumida:** 0,665 [W];
  - **Preço:** R$ 182,55.

3.1.2 Drone

A frente do drone teve seus componentes definidos visando disponibilizar sempre um baixo consumo e peso, para não sobrecarregar o drone em termos de peso e bateria, sem perder qualidade em termos de controle e obtenção de dados pelo drone, sendo a escolha de componentes subdividida em quatro etapas, sendo elas: o mapeador de terreno, o receptor de imagens, os sensores, os controladores, o computador e comunicador, além de uma etapa para adaptação da alimentação da bateria para os componentes eletrônicos. Que tem seu funcionamento explicado abaixo:

Mapeador de terreno: Esta parte é responsável por fazer mapeamento 3D do terreno, desenvolvido para o planejamento logístico de resgate. Consistindo de uma estrutura que se move lateralmente, para conseguir obter dados sobre o terreno em uma área abaixo do drone, e não apenas um único ponto. Foram escolhidos como componentes para realização desta tarefa:

- Módulo Light Detection And Ranging (Lidar) SF30/B: este módulo utiliza a tecnologia Lidar, que consiste na emissão de pulsos de laser, e na detecção do reflexo desses pulsos no sensor, e através do tempo levado para detectar o reflexo desses pulsos, é possível obter uma nuvem de pontos contendo informações sobre o que há entre o sensor, e o objeto que refletiu a luz emitida (COHEN, 2020). O módulo SF30/B,possui um alcance de 50m, permitindo que o drone permaneça a uma distância relativamente alta do solo, permitindo que o drone sobrevoe árvores, ou outros obstáculos, sem grandes preocupações de danos a este, além disso, o módulo conta com uma taxa de leituras ajustável que vai até uma taxa de 20010 leituras por segundo, e uma alta taxa se faz necessária para evitar que o drone reduza demais sua velocidade para a realização das leituras (LIGHTWARE, 2019).Este componente possui como principais características:

  - **Interface de Comunicação:** Serial (via porta USB);
  - **Taxa de Amostragem:** 20000 [s^{-1}]
  - **Alcance máximo:** 50 [m];
  - **Alimentação:** 5 [V];
  - **Potência máxima consumida:** 1,25 [W];
  - **Preço:** R$ 1665,00.

- Servo Motor TowerPro (TP) SG90: servo motores são dispositivos eletromecânicos que podem produzir um torque e velocidade baseados na corrente e tensão aplicadas a estes, podendo ter movimentação controlada externamente, baseado em sua posição (KOLLMORGEN, 2020). Seu controle de movimentação baseada em sua posição se faz necessária para a realização das leituras, pois para a realização do mapeamento, é necessário saber o ponto sobre o qual está sendo feita essa leitura, para que seja possível uma reconstrução da área mapeada.O modelo em questão possui um bom torque, de 1.8kgf/cm, e uma velocidade que leva 0.1s para rotacionar 60º, possuindo torque suficiente para mover o sensor Lidar, e uma boa velocidade (TOWERPRO, 2014). Este componente possui como principais características:

  - **Interface de Comunicação:** Pino Digital (controle por modulação por largura de pulso (PWM));
  - **Torque máximo:** 1,8 [$kgf \cdot cm^{-1}$]
  - **Alimentação:** 5 [V];
  - **Potência máxima consumida:** 1,1 [W];
  - **Preço:** R$ 17,90.

Sensores: Esta parte é responsável pela obtenção de dados auxiliares ao controle do drone, assim como a identificação da posição do drone, para que seja possível a identificação do local onde o drone está obtendo os dados para mapeamento. Para isto, foi escolhido um componente que possui os principais sensores necessários para o controle de estabilidade e identificação da posição do drone integrados em um único circuito:

- Altimeter and Inertial Measurement Unit (AltIMU) da Pololu, o AltIMU-10 v5: Que se trata de uma placa que contém integrados à ela o giroscópio e acelerômetro de três eixos LSM6DS33, que será responsável por captar as acelerações e trepidações do drone, de modo a caso sejam captadas trepidações bruscas, seja possível controlar a movimentação do drone através de seu motor, de maneira a fazer com que este mantenha uma boa estabilidade. Além disso, o módulo possui ainda o magnetômetro LIS3MDL, responsável por realizar medições sobre os campos magnéticos próximos aos sensor, e o barômetro LPS25H, responsável por captar a velocidade do vento na região onde o drone vai estar posicionado (POLOLU, 2016). Com tais sensores, é possível possuir um bom sensoreamento sobre a inércia do drone, e este módulo possui a praticidade de possuir todos os sensores juntos em um único circuito integrado, o que diminui o espaço ocupado por estes, assim como o custo de compra dos componentes. Este componente possui como principais características:
  - **Interface de Comunicação:** I2C;
  - **Alimentação:** 3,3 [V];
  - **Potência máxima consumida:** 16,5 [mW];
  - **Preço:** R$ 126,69.

Computador e comunicador: Esta parte é responsável por realizar a comunicação com a central de controle, para recebimento dos comandos de movimentação, assim como o envio dos dados obtidos, trabalhando integrado aos sensores, o receptor de imagens e o mapeador de terreno para realizar estas tarefas. Para tal parte, foram escolhidos como componentes eletrônicos a Raspberry PI 3B+, o módulo Raspberry PI LoRa HAT SX1262 915MHz, assim como estes foram usados na central de controle, além disso, esta etapa do drone também conterá o conversor ADS1015, porém nesta frente ele será utilizado para medir a carga da bateria que alimenta o drone.

Receptor de imagens: Esta parte é responsável pela obtenção de imagens em tempo real da área em frente ao drone, para o auxílio no controle de movimentação deste, além do possível auxílio à identificação de locais onde o mapeamento apresentou alguma complicação. O componente escolhido para esta parte foi:

- Módulo Raspberry PI Camera InfraRed-Cut-Off filter (IR-CUT): Se trata de uma câmera específica para ser utilizada juntamente com as placas Raspberry PI, con-

tando com dois light-emitting diodes (LEDs) infravermelhos posicionados nas laterais da lente da câmera, que podem ser ativados e desativados para proporcionar uma boa imagem mesmo em situações de baixa luminosidade (WAVESHARE, 2015). Sendo escolhida devido a sua facilidade de conexão com a Raspberry PI, através da interface serial de câmeras (CSI) presente nesta, evitando a necessidade do uso de adaptadores para a conexão de uma câmera tradicional. Este componente possui como principais características:

  - **Interface de Comunicação:** CSI;
  - **Sensor:** OV5647;
  - **Resolução:** 5 MP (2592x1944 pixeis);
  - **Alimentação:** 3,3 [V];
  - **Potência máxima consumida:** 2,97 [W];
  - **Preço:** R$ 154,50.

Atuadores: Esta parte é responsável por realizar o controle da velocidade dos motores, e consequentemente a movimentação do drone. Para tal, foram escolhidos para realizar esta tarefa os seguintes componentes:

- STEVAL-ESC001V1 - Electronic Speed Controller (ESC): Se trata de um controlador de velocidade para motores não escovados de corrente contínua, ou *BrushLess Direct Current* (BLDC), totalmente programáveis que podem controlar a velocidade de motores com correntes de até 30A continuamente, com picos de corrente de até 40A, e tensão de entrada podendo ir de 11.1V à 22.2V (STMICROELECTRONICS, 2018). Este se faz necessário pois motores do tipo não escovado (definido pela área de estrutura), precisam de um controlador para aumentar ou diminuir sua velocidade, e este controle de velocidade é feito a depender da movimentação que espera-se ser realizada pelo drone. Este componente possui como principais características:

  - **Interface de Comunicação:** Pino Digital (controle por modulação por largura de pulso (PWM));
  - **Alimentação:** 3,3 [V];
  - **Potência máxima consumida:** 0,957 [W];
  - **Preço:** R$ 39,80.

Adaptação De Alimentação para os Componentes Eletrônicos: Além dos componentes necessários para exercerem as funções principais do projeto, é necessário o uso de circuitos para adaptarem a tensão obtida da bateria que alimentará essa frente

para os valores utilizados pelos componentes eletrônicos, visto que esta se trata de uma bateria com tensão nominal de 11,1V, enquanto os componentes eletrônicos operam em valores de tensão de 3,3 V à 5V. Para tal são usados os componentes apresentados na tabela 5, e as conexões realizadas entre estes é melhor explicada na seção 3.2.2.

Tabela 5 – Componentes Eletrônicos Utilizados para Adaptação da Tensão de Alimentação para os Componentes Eletrônicos

Componente	**Quantidade**	**Preço (R$)**
Regulador de Tensão LM317T	1	1,85
Resistores de filme de carbono 1/4 W	9	0,05
Capacitores Eletrolíticos 50V	2	0,10
Total	11	2,50

Fonte: Autoria própria

3.2 Interconexão dos Componentes

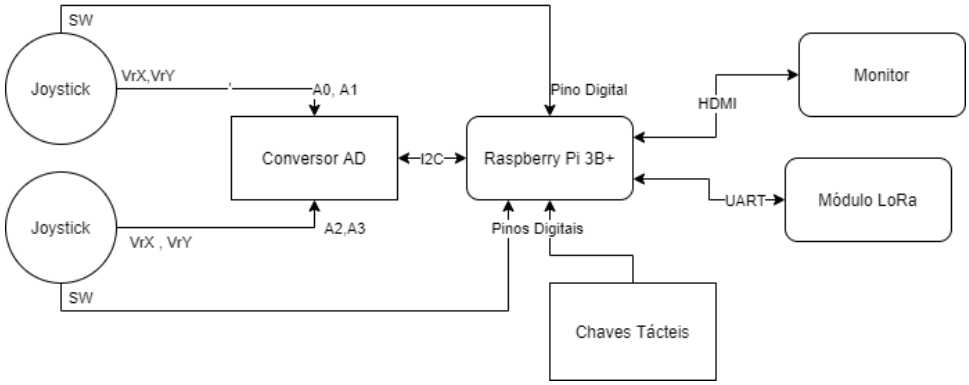
Com os componentes definidos, é necessário determinar como estes estarão interligados, protocolos de comunicação, e possíveis adaptações entre as conexões para que seja possível a realização do projeto. Para demonstrar essas conexões, foram desenvolvidos diagramas de blocos com o propósito de demonstrar como os módulos comunicam-se entre si, e diagramas esquemáticos com o propósito de demonstrar como as ligações eletrônicas são realizadas.

3.2.1 Comunicação Entre Os Módulos

3.2.1.1 Central de Controle

A frente da central de controle teve desenvolvido primeiramente um diagrama de blocos mostrando as interconexões entre componentes definidos e os protocolos de comunicação utilizados entre estes. Estando este diagrama de blocos apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Interconexões entre os componentes presentes na central de controle



Fonte: Autoria própria

Estando primeiramente, centrados no computador reduzido Raspberry PI 3B+. que é o responsável por realizar a comunicação com os demais componentes, de maneira a interligar todas as etapas do projeto.

Relacionados à central de controle, está o uso de dois módulos *joystick* a serem utilizados para os comandos de movimentação do drone, o primeiro terá ambos seus eixos de movimentação utilizados para realizar comandos de movimentação direcionais do drone de ir para os lados, ou para frente e para trás, e o segundo joystick terá um de seus eixos (no caso o eixo y) para controlar a altura do drone, e o seu outro eixo será utilizado para controlar a rotação do drone em sentido horário ou anti-horário. Estes estarão conectados à Raspberry PI ao passar os valores analógicos de tensão na saída dos pinos VrX ou VrY do módulo para as entradas analógicas do conversor AD, que por sua vez irá se comunicar com a Raspberry PI por meio do protocolo de comunicação Inter-Integrated Circuit (I^2C). O I^2C é uma tecnologia de comunicação que possui apenas dois barramentos - o SDA (Serial Data Line - barramento de dados) e o SCL (Serial Clock Line - barramento do clock), onde cada componente conectado no barramento possui um único endereço e é mantido sempre uma relação de mestre-escravo, podendo o mestre trabalhar como receptor ou transmissor (é multi-mestre, podendo ter mais de um mestre no barramento sem conflitos), a recepção ou emissão de dados sempre é iniciado pelo mestre (NXP SEMICONDUCTORS, 2014). A RaspBerry Pi consegue se comunicar com até 64 dispositivos pelo protocolo I2C conectados em paralelo, quantidade suficiente para o projeto (RASPBERRY.ORG, 2018).

Os módulos joystick possuem ainda uma chave táctil (SW) em seu centro que pode ser utilizada para comandos diretos específicos, no caso, estas serão utilizadas, uma para apresentar nas tela, ou tirar da tela os dados dos sensores e nível da bateria do drone, e a outra será utilizada para iniciar ou encerrar uma gravação realizada pela câmera. Estas chaves estarão conectadas à Raspberry PI por meio de suas entradas digitais. Além das chaves tácteis presentes nos módulos *joystick*, existem ainda quatro outras chaves tácteis a

serem utilizadas para controle de funções da central de controle, no caso destas, a primeira será responsável de enviar o comando para o drone voltar para o local de onde ele saiu, a segunda será responsável por iniciar/pausar o mapeamento através do sensor Lidar, a terceira será responsável por ligar e desligar o dispositivo, e a quarta será responsável por alternar entre a apresentação dos dados obtidos pelo sensor Lidar e os dados obtidos pela câmera. Estas também irão se comunicar com a Raspberry PI por meio de suas entradas digitais.

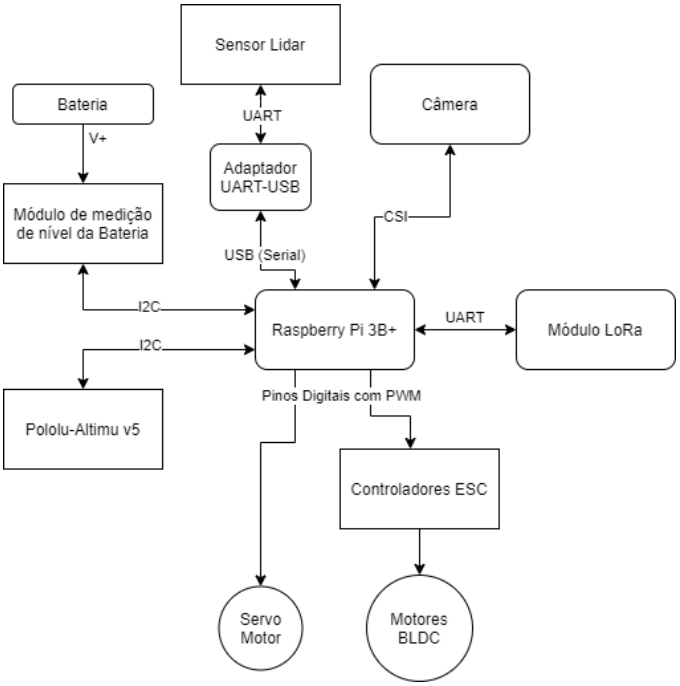
A interface conta ainda com a conexão entre o monitor e a Raspberry PI que irão se comunicar através de suas portas "High Definition Multimedia Interface" (HDMI), no caso a comunicação será unidirecional, com a Raspberry PI enviando as imagens a serem apresentadas no monitor. A comunicação via HDMI funciona passando sinais de áudio e vídeo de alta qualidade de um de seus terminais ao outro sem a necessidade de que estes sejam comprimidos antes desta ação, trazendo grande facilidade na realização desta ação (ARROW, 2018).

Por fim, haverá a conexão entre o módulo LoRa e a Raspberry PI, que será feita por meio do protocolo de comunicação Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART), através dessa comunicação a Raspberry PI poderá tanto receber, ou enviar dados necessários para atingir os requisitos do projeto.

3.2.1.2 Drone

A frente do drone também teve desenvolvido um diagrama de blocos mostrando as interconexões dos componentes definidos e os protocolos de comunicação utilizados entre estes. Estando este diagrama de blocos apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Interconexões entre os componentes presentes no drone



Fonte: Autoria própria

Assim como na central de controle, este está centrado na Raspberry PI, que também irá se comunicar com o transceptor LoRa por meio do protocolo de comunicação UART, para conseguir realizar a comunicação com a central de controle.

Além disso, estarão conectados à Raspberry PI por meio do protocolo de comunicação I^2C, os sensores presentes no módulo AltIMU-10 v5, de maneira a receber os dados referentes as medições realizadas, sendo que cada um destes possui sue próprio endereçamento I^2C.

A câmera irá se comunicar com a Raspberry PI através da Mobile Industry Processor Interface (MIPI) Camera Serial Interface Type-2 (CSI-2) presente nesta, de maneira a conseguir enviar as imagens captadas diretamente para Raspberry PI. A comunicação via CSI se trata de uma interface que busca facilitar e padronizar a conexão de pequenas câmeras a processadores da indústria de dispositivos móveis, tal interface tem alta adoção devido a sua facilidade de uso, além de sua capacidade de suportar aplicações de alto desempenho, com imagens com altas resoluções (indo além de 8K), de vídeo e fotografia (MIPI, 2019).

Os sinais do sensor Lidar passarão por um adaptador de UART para USB, que faz parte do pacote do sensor Lidar SF30/B, para conectá-lo à Raspberry e será utilizada a biblioteca disponibilizada pela LIGHTWARE (2019), através da qual será possível controlar tanto a taxa de amostragem, como receber os resultados dos valores das distâncias obtidas pelo sensor.

O servo motor, através de seu pino de sinal, irá se comunicar com a Raspberry PI,

que através de uma de suas portas digitais, realizará uma modulação por largura de pulso, ou *pulse width modulation* (PWM), para tornar possível o controle da posição deste, de maneira a movimentá-lo continuamente, para que sejam possíveis as medições do sensor Lidar sobre as informações do terreno em toda a área abaixo do drone. Modulação por largura de pulso se trata de um procedimento para controlar o nível de tensão DC visto por um determinado dispositivo analógico, como por exemplo um motor ou um LED, ao controlar uma saída digital, realizando ciclos onde a onda fica em nível alto (no caso da Raspberry PI 3.3[V]) e nível baixo(0[V]) de maneira controlada, e através da modificação da razão entre o tempo em que o sinal fica em nível alto e o tempo do ciclo total (o chamado duty cycle), é possível modificar o nível DC visto por um leitor analógico, desde que estes ciclos possuam uma frequência suficientemente alta, a depender do dispositivo de leitura (KOHLHASE, 2020).

Os controladores ESC, assim como o servo motor, irá, através de seu pino de controle, comunicar-se com a Raspberry PI, que através de uma de suas portas digitais, enviará um sinal PWM para controlar a velocidade de cada motor, de maneira a controlar a movimentação do drone.

A partir dos dados da ficha técnica a bateria, é possível identificar a porcentagem de carga da bateria a partir do nível de tensão medido. Para realizar essa medição, foi desenvolvido um módulo de medição desse nível que está melhor explicado na seção 3.2.2.

3.2.2 Esquemáticos Eletrônicos

Os diagramas Esquemáticos desenvolvidos apresentam as conexões detalhadas entre os componentes eletrônicos, e estão apresentados no Apêndice C.

3.3 Plano de Montagem

Para a conexão entre os componentes eletrônicos, estas serão feitas seguindo os diagramas esquemáticos desenvolvidos na seção 3.2.2, onde a grande maioria destas conexões será feita através de cabos ligados entre os componentes eletrônicos a serem utilizados, e estes serão fixados na estrutura através de furos de fixação presente nos módulos selecionados. Entretanto, alguns componentes não possuem furos para fixação em estrutura, e tendo isso em mente, foram desenvolvidas PCIs para fixação estrutural destes componentes. As informações relacionadas ao desenvolvimento das PCIs estão apresentadas no apêndice D.

3.4 Códigos de Programação do Sistema Embarcado

Nesta seção serão descritos os *firmwares* básicos, que serão a interface da eletrônica com a solução em software do projeto. Os códigos descritos nesta seção estão disponíveis no GitHub do projeto, sendo organizados em códigos básicos para teste na pasta Eletrônica/Códigos.

3.4.1 Módulo LoRa

Este módulo pode ser usado em diversos modos, entretanto, para as especificações que precisamos, usaremos o modo *relay*, sendo este modo selecionado pois ele proporciona um maior alcance de transmissão e recepção de dados. O código básico, fornecido em seu datasheet (WAVESHARE, 2017), está no GitHub como *relay.py*, na pasta "Eletronica/Códigos/LoRa". As bibliotecas básicas para a implementação do firmware são as bibliotecas ***serial***, para comunicação UART com o LoRa, ***RPi.GPIO***, para a configuração dos GPIO's da RaspBerry, e a biblioteca sys, para as configurações de sistema. Após a inicialização do componente e configuração do modo, as principais funções de comunicação serão as funções ***read*** e ***write***.

3.4.2 Módulo LiDAR

O firmware utilizado para este sensor, é responsável por realizar as leituras dos dados disponíveis na entrada USB correspondente a ele. O código de exemplo para esta leitura está na pasta "Eletronica/Códigos/LiDAR"do GitHub, sob o nome *serailRead.py*. A principal biblioteca para este código é a biblioteca *serial*, responsável pela interação com as portas seriais da RaspBerry Pi. A função ***read***, executada após a devida configuração da leitura a ser feita, será a função responsável por coletar os dados recebidos.

3.4.3 Conversor AD

Para o conversor AD, há o uso dele para duas funcionalidades diferentes, para o joystick e para a medição do nível de bateria. As principais bibliotecas para os códigos dos componentes são iguais, diferindo apenas em questão às configurações iniciais. Os códigos se encontram na pasta "Eletronica/Códigos/Conversor AD". Para realizar a leitura, são necessárias as bibliotecas ***Adafruit_ADS1x15***, biblioteca que configura a comunicação em Python com o conversor AD, a biblioteca ***sys***, para funções do sistema, e ***Rpi.GPIO***, para utilização e configuração dos GPIO's da RaspBerry Pi. As principais funções são a *ADS1x15*, que cria a variável para manipulação da comunicação, e função *readADCSingleEnded*, que configurará a leitura dos dados, assim como a velocidade da leitura e ganho sobre os valores recebidos dos dados. Em específico, o código joystick

possui um pino digital para detectar caso este seja pressionado ao invés de manipulado horizontal ou verticalmente, lido através da função *input* da biblioteca GPIO.

3.4.4 Câmera

A câmera será um sensor que também pode ter seu modo configurado. Seu código de exemplo se encontra na pasta "Eletronica/Códigos/Conversor AD"do GitHub. Será necessária apenas uma biblioteca para a interação com a camera, a biblioteca ***picamera***, que interage com a câmera. A função ***capture*** será a responsável pela captura das imagens.

3.4.5 Controlador ESC

A controladora ESC será o componente responsável pelo controle do motor BLDC (o motor do drone). Seus código básico pode ser encontrado na pasta "Eletronica/Códigos/ESC+BLDC"do GitHub. As principais bibliotecas a serem utilizadas são as bibliotecas ***time***, para recursos de contagem temporal, ***pigpio***, para o controle dos pinos digitais, e a biblioteca ***os***, a qual permite a comunicação com o sistema operacional. Após a configuração básica, as principais funções serão as funções *controle_manual*, que permite a programação manual do controlador, *calibrar*, função inicial para calibrar automaticamente o controlador, *controle*, usada após a calibração inicial para o teste de diversas velocidades, *arm*, para armar o controlador e por fim a função *parada*, para pausar o funcionamento do motor.

3.4.6 Push-button

Os push-buttons ativarão algumas funções de software específicas na central. Seu código básico pode ser encontrado na pasta "Eletronica/Códigos/Push-Button". Há apenas uma biblioteca necessária pra o uso do push-button, a biblioteca ***RPi.GPIO***, a qual é responsável pelo controle e configuração dos pinos digitais da RaspBerry. A função *input* faz o papel de leitura dos dados dos pinos, sendo usada após a configuração inicial.

3.4.7 Sensores

Todos os sensores estão englobados em um único componente, embora seja necessárias diferentes bibliotecas para a interação com ele. O código para os sensores se encontra na pasta "Eletronica/Códigos/Sensores". Inicialmente, é necessário a habilitação da comunicação i2c através da interface **raspi-config**. Após a habilitação do sistema, o código pode ser executado. As principais bibliotecas a serem utilizadas são a ***adafruit_lsm6ds.lsm6ds33***, para interagir com o lsm, ***adafruit_lis3mdl***, para a interação com o lis3mdl, a ***adafruit_lps2x***, para a interação com o lps2x, e as bibliotecas

board e ***busio***, para a configuração do i2c. As funções principais funções a serem utilizadas, após as devidas configurações, serão a *gyro*, para a velocidade angular, e *acceleration*, para a aceleração do drone.

3.4.8 Servo-motor

O servo-motor será responsável pela movimentação do LiDAr, de forma que ele possa ser movimentado lateralmente para realizar o mapeamento da área ao invés de apenas um ponto abaixo do drone. Este código se encontra na pasta "Eletronica/Códigos/Servo"do GitHub. As principais bibliotecas para a operação é a biblioteca ***os***, para comunicação com o sistema operacional, e a biblioteca ***pigpio***, para realizar o controle e configuração dos pinos digitais. A função que será utilizada em software é a *servo_control*, que realiza o controle do angulo do servo motor.

3.5 Plano de Testes

Aqui segue os planos para os testes de componentes e subsistemas do projeto. Estes testes servem de verificação e validação, visando assegurar o atendimento dos requisitos estipulados para o projeto e a integridade dos componentes e subsistemas.

3.5.1 Teste de componentes

Seguem os procedimentos de teste de cada componente da Central de Controle.

3.5.1.1 Joysticks e conversor AD

Estes serão testados em conjunto, por conveniência. Caso sejam detectadas falhas específicas, serão realizados testes unitários.

- **Requisitos:** enviar coerentemente os sinais nas direções correspondentes à manipulação do joystick;
- **Testes propostos**
  - **Teste de reconhecimento:** teste para verificar se a conexão I^2C está sendo reconhecida. Será realizado através do comando *i2cdetect* no prompt da Raspberry Pi. Caso o endereço seja reconhecido, é possível dar prosseguimento. Caso não, há a possibilidade de queima do componente, sendo necessário a a revisão do circuito para negar a possibilidade de montagem errada, ou a compra de novo componente se comprovada a queima.

- **Teste de funcionamento:** usando o código e circuitos fornecidos no *datasheet* do joystick (JOY-IT, 2017), serão printados os valores coletados do conversor. Caso os resultados estejam coerentes com o especificado no datasheet, o conjunto é considerado aprovado. Se não, o teste é refeito após revisão do circuito e código e, caso novamente falho, é realizado o teste individual do conversor AD
- **Teste individual do conversor AD (opcional):** caso o teste de funcionamento tenha apontado falha, será realizado um teste com o conversor AD. Neste, o conversor AD, em seu circuito básico fornecido em seu datasheet (INSTRUMENTS, 2015) será ligado a um osciloscópio e os resultados serão expostos em tela da RaspBerry Pi. Caso eles não estejam coerentes com o especificado no datasheet, é considerado falha. Caso estejam coerentes, a falha é considerada no joystick.

3.5.1.2 Chaves tácteis

- **Requisitos:** enviar sinal caso pressionada;
- **Testes propostos**
  - **Teste de funcionamento:** teste para verificar o funcionamento do componente. Montado em seu circuito básico e ligado em um dos pinos da RaspBerry Pi, é montado um código que detecta o sinal da chave e apresente alguma mensagem em prompt em resposta a ele. O código já será feito o *debouncing* da chave. Caso as mensagens apresentadas esteja coerente com a pressão da chave, o componente é aprovado. Caso as mensagens estejam incoerentes com o esperado, é realizado a revisão do código e circuito, sendo considerado falha caso o erro persista, cobrando a compra de novo componente.

3.5.1.3 Módulo LoRa

- **Requisitos:** enviar e receber dados a uma distância mínima de 1km;
- **Testes propostos**
  - **Teste de funcionamento:** teste para verificar o funcionamento do componente. Montado em seu circuito básico e ligado na entrada UART da RaspBerry Pi, com o outro módulo receptor, é testado o envio e recebimento de sinais curtos entre eles a curta distância, com um código de exemplo (WAVESHARE, 2017). Caso o comportamento de ambos estejam dentro do esperado, os componentes são aprovados. Caso haja problemas em algum dos módulos, há a revisão

do circuito ou código. A persistência de erro ou falha aponta a necessidade de nova aquisição do componente.

- **Teste de eficácia:** o mesmo circuito e códigos são utilizados, entretanto agora em campo aberto e em distâncias variáveis de 100, 500 e 1.000 metros. Caso o componente mantenha o rendimento, é considerado aprovado. Caso haja perda de sinal, é revisada as condições do teste para averiguar qualquer interferência. Caso as condições de teste, circuitos e código estejam aprovados mas o erro persiste, será necessária uma nova aquisição de componente.

3.5.1.4 RaspBerry Pi

- **Requisitos:** receber e enviar sinais dos componentes periféricos; realizar processamento adequado dos sinais, através da linguagem Python instalada.
- **Testes propostos**
  - **Teste de funcionamento:** teste para verificar o funcionamento do componente. Basicamente, a placa é ligada na fonte e verifica-se se sua LED está acesa. Caso esteja, é iniciada a instalação do Sistema Operacional com a placa ligada em monitor e, se este é iniciado e instalado normalmente, é considerado aprovado. Caso a luz não acenda deve-se considerar a queima ou da fonte ou da placa. Quanto ao SO, se assegurado a compatibilidade deste e o seguimento dos passos corretamente, considera-se defeito de placa. Ambos os casos apontam necessidade da troca da placa ou fonte desta.
  - **Teste de instalações:** realizado após a instalação das linguagens de programação e ambientes de programação, basicamente rodando alguns códigos básicos de exemplo pra verificar a correta instalação do programa e outras bibliotecas auxiliares. Erros apontam má instalação, sendo necessário a revisão dos passos e reinstalação dos programas.

3.5.1.5 Câmera

- **Requisitos:** capturar imagens em tempo real do ambiente.
- **Testes propostos**
  - **Teste de funcionamento:** teste para verificar o funcionamento do componente, realizado após a configuração da placa para seu uso. Ela será ligada na entrada CSI e em uma entrada digital, permitindo um teste simples com a gravação, via comando de prompt. Caso ela grave o vídeo normalmente, em modo de visão noturna e normal, é considerada aprovada no teste. Se houver

erro persistente, mesmo após a análise e revisão das ligações e configurações, o componente deverá ser substituído.

- **Teste de programação:** este teste é pensado para verificar o funcionamento adequado das bibliotecas e funções da câmera em Python. Basicamente, será testado um código simples que aplica as funções que acessam a câmera. Caso as funções estejam de acordo com suas funcionalidades, é considerado uma aprovação no teste. Caso seja apresentado erro ou comportamento divergente do esperado, os códigos devem ser revisados e readequados.

3.5.1.6 Sensor Lidar e adaptador UART-USB

- **Requisitos:** realizar o mapeamento dos ambientes.

- **Testes propostos**

  - **Teste de funcionamento:** teste para verificar o funcionamento do componente. Ele será ligado após as devidas configurações e uma amostragem será coletada com um objeto próximo ao sensor. Caso não seja detectado nenhum erro na coleta das amostras da nuvem de pontos, é considerado aprovado. Caso algum erro seja detectado nas amostras, e este persista após revisão das conexões, código e posicionamento do Lidar e objeto avaliado, será necessário a verificação em outro teste da integridade do conector UART-USB.

  - **Teste de reconstrução de imagem:** este teste é pensado para verificar se o sinal vindo do lidar corresponde ao esperado. Nesse caso, reconstruir-se-á a imagem a partir das amostras obtidas do Lidar, e se verificará se elas se adéquam com a situação do teste e objeto em observação. Caso seja percebida alguma divergência com o esperado, será revisado as condições do teste ou até o código e bibliotecas, dependendo da natureza do erro. O erro persistente após os testes exigirão a obtenção de novo componente.

  - **Teste de funcionamento do adaptador UART-USB (opcional):** este teste visa assegurar o funcionamento do adaptador UART-USB, caso o teste de funcionamento do conjunto deste com o Lidar não tenha sido aprovado. Este será usado para realizar a conexão do Lora no modo apenas recebimento (após o teste e verificação prévia de seu funcionamento). Caso seja detectado o recebimento correto dos sinais, este será aprovado, apontando que a falha anterior está no Lidar. No caso de aprovação, o Lidar deverá ser substituído. No caso de falha, o adaptador será substituído.

3.5.1.7 Servo motor

- **Requisitos:** realizar a rotação de maneira a posicionar adequadamente o Lidar para um melhor mapeamento da área.
- **Testes propostos**
  - **Teste de funcionamento:** teste para verificar o funcionamento do componente. Neste teste, após sua ligação adequado à placa, serão enviados os sinais de rotação para averiguar seu funcionamento. É considerado aprovado caso o servo motor funcione como previsto dos sinais enviados. Caso haja erro e, mesmo após revisão dos códigos e conexões, ele se mantenha, será exigido nova aquisição de componente

3.5.1.8 Pololu-Altimu v5

- **Requisitos:** aferir rotação; aferir aceleração.
- **Testes propostos**
  - **Teste de funcionamento (rotação):** teste para verificar o funcionamento de funcionalidade do componente. Para este teste, o componente será montado em seu circuito básico (POLOLU, 2016) e será rotacionado levemente em várias direções, além de rotações em ângulo de 90º. Os dados gerados por ele serão interpretados em software específico, permitindo a comparação dos dados com o movimento feito. Será considerado aprovado caso haja coerência entre o movimento do software e a inclinação do componente. Caso erros persistam mesmo após revisão do circuito, código e dos dados recebidos, o componente é considerado defeituoso e se exigirá nova aquisição.
  - **Teste de funcionamento (aceleração):** teste para verificar o funcionamento de funcionalidade do componente. Para este teste, o componente será montado em seu circuito básico (POLOLU, 2016) e será, primeiramente, movimentado em diferentes acelerações, em movimentos curtos. Caso seja percebido coerência (valores baixos para acelerações baixas e altos para as altas) entre os acelerações aferidas e o movimento do componente, este é considerado aprovado. A persistência de erro, mesmo após a revisão do código e conexões, apontará defeito do componente, exigindo nova aquisição.

3.5.1.9 Servo motor

- **Requisitos:** realizar a rotação de maneira a posicionar adequadamente o Lidar para um melhor mapeamento da área.

- **Testes propostos**

  - **Teste de funcionamento:** teste para verificar o funcionamento do componente. Neste teste, após sua ligação adequado à placa, serão enviados os sinais de rotação para averiguar seu funcionamento. É considerado aprovado caso o servo motor funcione como previsto dos sinais enviados. Caso haja erro e, mesmo após revisão dos códigos e conexões, ele se mantenha, será exigido nova aquisição de componente.

3.5.1.10 Controlador ESC e motor BLDC

- **Requisitos:** impulsionar o drone em resposta ao controle do usuário.

- **Testes propostos**

  - **Teste de funcionamento:** teste para verificar o funcionamento do conjunto. Neste teste, após a montagem das conexões e configurações do software da controladora ESC (citado no datasheet)(STMICROELECTRONICS, 2018), além da preparação de um ambiente que permita a fixação do rotor para impedí-lo de se movimentar com sua ativação. É considerado aprovado caso o BLDC responda adequadamente aos comando enviados através da controladora. É considerado falha caso o erro persista mesmo após revisão das conexões, códigos e configurações do software da controladora. Em caso de falha, serão realizados os testes individuais de funcionamento.

  - **Teste de funcionamento BLDC (opcional):** teste simples para verificar funcionamento do BLDC. Para isso, uma LED é acoplada entre a conexão do fio vermelho e o preto do conector do motor, com a polaridade inversa voltada para o fio vermelho. Após isso, o eixo é girado manualmente, sendo considerado aprovado caso LED brilhe. Em caso de falha, o motor é considerado defeituoso, sendo necessária outra aquisição. Caso

  - **Teste de funcionamento da ESC (opcional):** Para a ESC, será configurado o software e circuito normalmente, com o diferencial da conexão que emite o sinal PWM da controladora (OUT3) a um osciloscópio, para verificar a emissão correta dos sinais. Caso haja coerência com o configurado no software, a placa é considerada aprovada. Caso exista erros, persistentes mesmo após revisão das configurações e conexões, a placa é considerada defeituosa e se exigirá nova aquisição.

3.5.2 Teste de Subsistemas

Estes serão testes básicos com a integração dos componentes antes da integração e validação finais. Os passos para esses testes são:

1. **Teste da central de controle:** após a montagem do circuito completo da central de controle, é realizado a conexão entre ela e um LoRa enviando sinais gerados artificialmente, e todas as funcionalidades da Central serão testadas (estes são testes pré-integração, então são testados apenas as funções básicas do firmware). Os dados enviados e recebidos serão armazenados em texto para serem avaliados. Caso não seja detectado nenhum erro durante a operação, o subsistema é aprovado na primeira etapa. Será necessária revisão das conexões, códigos, integração, testes e especificações, nesta ordem, caso sejam detectados erros ou divergências.

2. **Teste do drone:** após a montagem do subsistema completo, tal como no teste da central, são realizados os testes das funcionalidades em interface precária, testando as funções básicas do firmware, com sinais artificiais enviados via LoRa. Os dados enviados e recebidos serão armazenados para avaliação. Caso não seja detectado divergências das especificações ou erros, o subsistema é aprovado na primeira etapa. Será necessária revisão das conexões, códigos, integração, testes e especificações, nesta ordem, caso sejam detectados erros ou divergências.

3. **Teste do sistema íntegro (curta distância):** esta é a segunda etapa de teste de sistema. Aqui, os subsistemas montados são conectados para comunicação entre eles. Neste caso, os sinais serão emitidos pela central, enquanto o drone deverá receber os dados e enviar as respostas sem intervenção, tudo a uma distância curta. Todas as funcionalidades são aqui testadas, sendo este o último teste antes da integração final. É aprovado caso não haja divergência das especificações ou erros. Será necessária revisão das conexões, códigos, integração, testes e especificações, nesta ordem, caso sejam detectados erros ou divergências.

4. **Teste do sistema íntegro (longa distância):** Repetição do teste de sistema íntegra, desta a em distâncias de 100, 500 e 1.000 metros. Será feito em campo aberto e posteriormente em ambiente com alguns obstáculos. Caso haja falha no funcionamento do sistema, e esta persista mesmo após a revisão da montagem e condições de teste, será considerada falha de especificação e o problema deverá ser avaliado, com busca de alternativas para solução do caso.

4 Energia

A área de energia atua em duas frentes neste projeto: com o sistema de carregamento off-grid e a bateria do drone.

4.1 Sistema de Carregamento Off-Grid

Um sistema fotovoltaico off- grid é um sistema não conectado à rede que pode ser adaptado aos mais diversos tipos de situações e localidades. Esse tipo de sistema tem apenas uma finalidade que é o carregamento de baterias. Para o projeto, o sistema funcionará como um carregamento de emergência para central de controle. O sistema off-grid é composto, em geral, por:

- Módulo Fotovoltaico
- Banco de baterias
- Controlador de carga
- Inversor

4.1.1 Módulo Fotovoltaico

Parte mais aparente de um sistema fotovoltaico, constituído de células fotovoltaicas de materiais semicondutores, principalmente o silício, que por meio do efeito fotovoltaico fazem a conversão direta da radiação solar em energia elétrica.(VIAN et al., 2021)

4.1.2 Controlador de Carga e Inversor

O controlador de carga ou regulador de carga permite ao usuário acompanhar o estado de tensão e carga das baterias durante o funcionamento do sistema off-grid. O inversor é responsável por transformar a corrente contínua das baterias com tensões de entrada de 12/24Vcc (Tensão em corrente contínua) para 110/220Vca (Tensão em corrente alternada. (SOLAR, 2021)

4.2 Bateria do Drone

A escolha da bateria busca atender parâmetros essenciais ao funcionamento do drone. As características levadas em conta são a capacidade máxima, a tensão, ener-

gia, o eletrólito, a densidade gravimétrica de energia e a capacidade nominal de descarga.(VANZWOL, 2017)

As baterias de polímero de lítio (LiPo) são o tipo padrão para montagem de drones devido à alta densidade específica de energia, já que cada grama a menos no drone aumenta seu tempo de voo; e ao formato mais tradicional ser mais bem acomodado pela estrutura do drone. Comparativamente com baterias de íons de lítio (Li-ion), as baterias de LiPo se tornam inferiores pelo seu custo e por sua densidade volumétrica de energia, que acaba sendo compensada por seu eficiente formato de paralelepípedo ao invés do formato cilíndrico da bateria Li-ion.(VANZWOL, 2017) A Figura **??** apresenta graficamente a comparação dos tipos de bateria em relação a densidade gravimétrica de energia e a densidade volumétrica de energia.

Outro ponto a ser considerado em favor das baterias LiPo é o revestimento usado em sua fabricação, visto que ela pode ser formada por policarbonato ou ABS,(VANZWOL, 2017) enquanto a bateria Li-ion possui revestimento de níquel.(LITHIUMIONBATTERY.ORG, 2021) A influência do material se dá em impactos sofridos pela bateria serem melhor absorvidos por polímeros que por metais. As baterías Li-ion ainda apresentam a desvantagem de superaquecer mais facilmente e o risco de dano e combustão em altas voltagens e baixa pressão.(INSTITUTE, 2021)

Para atender as especificações do motor Spitz 3548-05, definido pela área de estrutura a bateria selecionada para o projeto possui:

- Capacidade: 8000 mAh (miliAmpère-hora)
- Vcc: 11,1 V (Volt)
- Energia: 88,8 Wh (Watt-hora)
- Peso aproximado: 670 g (gramas)
- Número de células: 3 em série
- Capacidade nominal de descarga: 60C

O carregador escolhido para bateria é um carregador balanceador de carga para baterias de LiPo:

- Capacidade: 8A (Ampère)
- Vca: 110-220V
- Vcc: 11-18V
- Potência: 96W (Watt)

4.3 Aplicação no Projeto do Sistema de Carregamento Off-Grid

O sistema do projeto é uma versão de menor escala de um sistema fotovoltaico off-grid para que o usuário disponha de uma fonte de energia alternativa durante missões isoladas.

O dimensionamento do sistema foi calculado a partir consumo do equipamentos e componentes presentes na missão, que poderão ser alimentandos pelo conjunto, por meio da potência em watts(W), o tempo de uso em horas (h) necessário para carregar até 100% as baterias da central de controle e do drone, respectivamente, e o consumo em Watt-hora (Wh) como disposto na tabela 6.

Tabela 6 – Consumo de Energia na Missão

Equipamento	**Quant.**	**Potência Máxima (W)**	**Tempo de uso (h)**	**Consumo (Wh)**
Central de Controle	1	17,5	2	35
Carregador da bateria do drone	1	96	1	96
Total	-	113.5	-	131

Fonte: Autoria própria

Observação: O tempo de uso referente ao carregamento da central de controle pode variar em cerca de 20 minutos porque o carregamento acontece via entrada USB do controlador de carga.

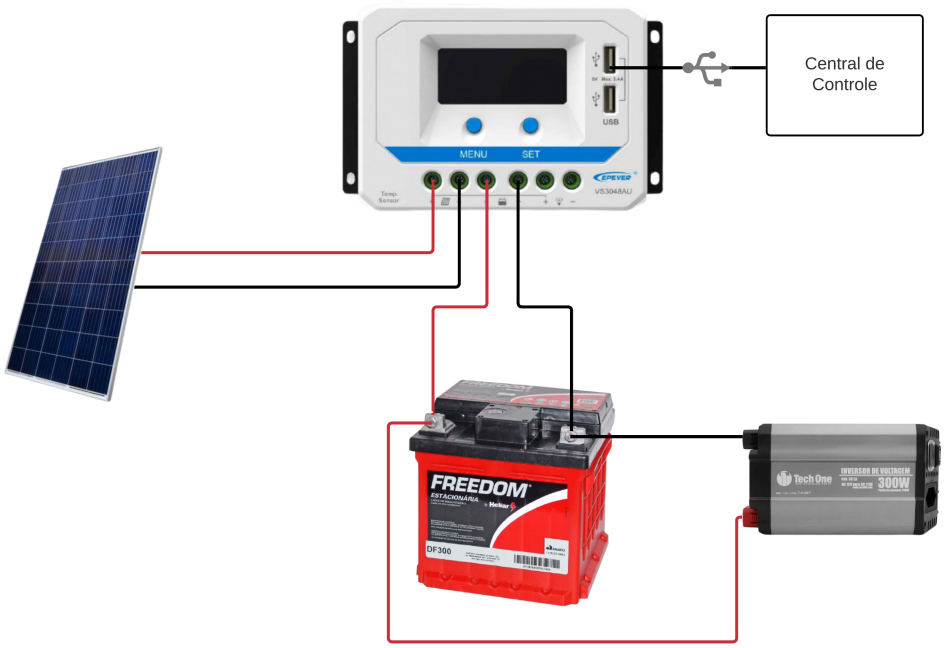
O sistema de carregamento off-grid projetado para o projeto pode ser adaptado de acordo com futuras alterações e necessidades relacionadas a adição de equipamentos para as missões, porém ele não é capaz de suprir sozinho e prover carregamento rápido para as baterias, o que torna necessário que o usuário tenha baterias reservas para o drone.

O sistema do projeto contará com:

- Módulo Fotovoltaico 50Wp
- Controlador de Carga PWM 10A
- Bateria Estacionária 30Ah
- Inversor 300W de 12V para 110V

A figura 5 apresenta o esquemático de ligações do sistema off-grid. O inversor é a saída 110V para manter equipamentos, como o carregador de bateria do drone ou suprir alguma outra necessidade de tensão em corrente alternada no local da missão.

Figura 5 – Esquemático do sistema de carregamento off-grid



Fonte: Autoria própria

4.3.1 Custos da Área de Energia

A Tabela 7 apresenta os principais custos para montagem do sistema de carregamento off-grid com as características definidas para o projeto.

Tabela 7 – Custos do Sistema de Carregamento Off-Grid

Equipamento	**Quantidade**	**Custo Médio(R$)**
Módulo fotovoltaico	1	275,00
Controlador de Carga	1	255,50
Bateria Estacionária	1	349,00
Cabos Fotovoltaicos	2	77,02
Bateria do drone	2	316,96
Bateria da Raspberry	1	480,00
Carregador de bateria do drone	1	319,53
Inversor	1	285,00
Total	11	2.751,99

Fonte: Autoria própria

5 Estrutura

A área de estrutura é responsável por projetar a parte esquelética do projeto, desde a central de controle até o drone em si, dessa forma, ao pensar nos problemas a serem enfrentados como resistência à variação climática (chuva, frio, calor, ventos fortes), estabilidade estrutural, autonomia de voo, alcance de área mapeada, custo de fabricação e peso da estrutura, duas prioridades foram determinadas para ser definidas como ponto inicial para a estrutura do drone: o modelo estrutural e o material a ser utilizado na fabricação da estrutura.

5.1 Modelo estrutural

Dois tipos de drones foram estudados, o drone de asa fixa e o drone de asa rotativa, foram levantadas as principais características de cada modelo. Ao fim será feita a escolha do modelo.

5.1.1 Asa Rotativa ou Multirotor

Drones de asa rotativa possuem diversos rotores para movimentar as hélices e manobrar o aparelho. Essa categoria possui alguns modelos e cada modelo é diferente devido a quantidade de rotores que compõem a aeronave, quatro rotores (quadricópteros), seis (hexacópteros) ou oito (octocópteros) (VULEJ, entre 2018 e 2020). O drone multirotor depende principalmente de seus rotores, movidos a motor, para deslocamentos horizontais (ANAC, 2008).

As principais vantagens dos drones de asas rotativas são:

- Facilidade de pilotagem: drones com multi-rotores são mais fáceis de voar e podem realizar decolagem e pouso vertical, também requerem menos espaço para decolagem e pouso, têm grande flexibilidade de manobra e podem pairar em voo (GTA, 2019). Essa facilidade de pilotar, conseguir ficar parado no ar, baixas velocidades de voo, favorece o uso desse equipamento em inspeções de segurança, imagens artísticas, entre outros (NETO, 2017).

- Menor custo: drones de asa rotativa dominam o mercado de drone a um preço competitivo. Pode-se encontrar quadricópteros profissionais com preços que variam de 8 a 10 mil reais, enquanto os de asas fixas, com qualidade semelhante, possuem um preço 8 a 10 vezes superior (GTA, 2019). A estrutura do drone de asa rotativa é mais simples do que a de asa fixa, o que pode explicar seu menor custo (SENAR, 2018).

Devido sua simplicidade o drone de asa rotativa está se tornando mais acessível (NETO, 2017).

- Maior capacidade de carga útil: os drones multirotores geralmente suportam um peso maior devido ao seu design (GTA, 2019).

- Mais compacto: drones com múltiplos rotores não precisam da área de superfície ou envergadura, como os drones de asa fixa, porque voam com múltiplas hélices. Eles são projetados para serem dobrados e embalados em caixas menores, tornando-os mais fáceis de transportar (GTA, 2019). O drone de asa rotativa consegue alçar voo na vertical, enquanto os de asa rotativa o fazem na horizontal (SENAR, 2018).

As desvantagens do modelo de asa rotativa são:

- Menor área mapeada: a limitação dos drones com vários rotores é a área mapeada para uma única bateria. Em clima ideal, a maioria dos drones com vários rotores pode voar por cerca de 30 minutos (GTA, 2019). A média de área mapeada por bateria durante um voo é de cerca de 50 ha (HORUS, entre 2014 e 2021).

- Menos estabilidade: As características aerodinâmicas dos drones multirotores os tornam mais suscetíveis a ventos fortes (GTA, 2019). Devido a baixa aerodinâmica desse tipo de drone a velocidade de operação é mais baixa comparado ao drone de asa fixa (SENAR, 2018). Fatores esses que faz com que o drone de asa rotativa precise de mais motores para ser estável durante o voo tendo que possuir ao menos três motores, o que faz com que seu gasto energético seja elevado (NETO, 2017).

5.1.2 Asa Fixa

O desenho desta categoria é muito semelhante ao de um avião normal, neste modelo de drone existe um corpo central com duas asas de cada lado, com apenas uma hélice para impulsionar. As asas garantem a elevação do drone, o que compensa seu peso, permitindo se manter em altura (VULEJ, entre 2018 e 2020). Eles têm diferentes vantagens, como:

- Maior área mapeada: drones de asa fixa podem cobrir uma área maior em um único ciclo de bateria. Isso os torna ideais para mapear regiões grandes ou lineares (GTA, 2019). Esses drones possuem uma vantagem aerodinâmica comparado ao drone de asa rotativa, o que diminui sua necessidade de motores para sua sustentação (HORUS, entre 2014 e 2021). A velocidade de operação dos drones de asa rotativa é elevada comparado ao de asa rotativa (SENAR, 2018), apesar da sua elevada velocidade em voo ele tem maior capacidade de cobertura em mapeamento. E conseguem atingir tetos de voos mais elevados .

- Maior estabilidade: comparado com drones de asa rotativa, o de asa fixa proporciona maior estabilidade em ventos fortes. Fornece opções de voo para áreas onde ventos fortes são esperados ou frequentes (GTA, 2019).

Esse tipo de drone também apresenta algumas desvantagens operacionais:

- Necessidade de uma maior área de pouso e decolagem: drones de asa fixa requerem áreas maiores de decolagem e pouso; em alguns casos, como em cidades ou áreas com vegetação densa, isso pode causar perda de produtividade (GTA, 2019). Esses drones alçam voo na horizontal, e pousam na horizontal, o que dificulta sua usabilidade (SENAR, 2018).
- Maior custo: atualmente no mercado, os drones de asa fixa costumam ser mais caros do que os multirotores (GTA, 2019). Os drones de asa rotativa possuem uma estrutura simplificada, o que o torna mais barato, e por essa razão ser mais difundido no mercado (NETO, 2017).
- Dificuldades na pilotagem: drones de asa fixa apresentam mais dificuldades para pilotar, até mesmo em piloto automático (GTA, 2019). Porém em caso de falhas motores segundo, os drones de asa fixa conseguem planar, o que não acontece com os de asa rotativa (NETO, 2017).
- Menos compacta: a vantagem dos drones de asa fixa de apresentar maior autonomia vem diretamente de sua área de superfície e envergadura, o que significa que são mais difíceis de armazenar e geralmente requerem mais tempo de montagem para voar (GTA, 2019).

A partir das informações levantadas sobre cada tipo de drone, foi construída uma matriz de decisão para escolher a melhor opção para o projeto. A matriz de decisão é a Tabela 8, a seguir:

Tabela 8 – Matriz de decisão para modelo estrutural

Requisitos (peso)	**Asa fixa**	**Asa rotativa**
Preço (x 2)	1 x 2 = 2	2 x 2 = 4
Tamanho/Portabilidade (x 1)	1 x 2 = 2	2 x 2 = 4
Facilidade de pilotagem (x 1)	1 x 2 = 2	2 x 2 = 4
Eficiência de área mapeada (x 3)	2 x 3 = 6	1 x 3 = 3
Estabilidade (x 3)	2 x 3 = 6	1 x 3 = 3
Área de decolagem e pouso (x 2)	1 x 2 = 2	2 x 2 = 4
Capacidade de carga (x 2)	1 x 2 = 2	2 x 2 = 4
Total	**22**	**26**

Fonte: Autoria própria

A matriz de decisão possui dois valores possíveis para cada requisito, 1 para o modelo que possui desvantagem e 2 para o modelo que possui vantagem, os quais são multiplicados pelo peso de importância em cada requisito. Os pesos foram definidos pelo núcleo de estrutura sabendo que os requisitos são para um drone de mapeamento. Ao analisar a matriz, tem-se que o melhor modelo estrutural é o drone de asa rotativa. Apesar do modelo de asa fixa ter desvantagens na maioria dos requisitos, ele é superior em dois pontos importantes para drones de mapeamento, que são a eficiência de área mapeada e estabilidade, porém essas desvantagens podem ser contornadas por drones de asa rotativa, utilizando mais baterias e construindo uma estrutura com maior porte, respectivamente. Assim, é definido que para o projeto Damte, o modelo estrutural de asa multirotor é a melhor opção.

5.2 Material da estrutura

Pensando em fazer uma estrutura leve, com facilidade de fabricação e com um preço mais baixo do que os drones de mapeamento que estão no mercado, fabricar a estrutura em impressão 3D foi a opção escolhida. Sendo que para impressão 3D os quatro materiais pesquisados são PLA, PETG, ABS e PEEK.

5.2.1 ABS

O ABS é um material leve, flexível, porém rígido e com capacidade de absorver impactos. Pode ser utilizado em diversas situações, pois pode assumir qualquer cor e formato, uma boa opção para a fabricação de filamentos de impressão 3D (3DLAB, entre 2013 e 2019).

Recomenda-se o uso do ABS para: peças pequenas com boa resistência mecânica; peças que serão lixadas posteriormente e em peças que ficarão expostas ao sol ou em ambientes mais quentes (3DLAB, entre 2013 e 2021).

5.2.2 PLA

O PLA é um dos materiais mais populares para impressão 3D, pois apresenta uma variedade de cores à sua escolha e é mais fácil de imprimir em comparação com o ABS. O PLA possui melhores propriedades térmicas e mecânicas que o ABS, melhorando assim sua capacidade de impressão e reduzindo os efeitos de empenamento no processo de fabricação (SANTANA et al., 2018).

Além de boas propriedades mecânicas e de processamento, estabilidade térmica e baixo impacto ambiental, o PLA também possui funções interessantes como biocompatibilidade, biodegradabilidade. No entanto, algumas deficiências do PLA, como fragilidade inerente, alongamento limitado na ruptura e baixa resistência ao impacto, representam alguns desafios para a ampla aplicação de materiais (SANTANA et al., 2018).

É recomendado usar o PLA quando são necessárias: peças suscetíveis a atrito e desgaste; alta qualidade superficial sem necessidade de acabamento; peças grandes e demonstrativas; peças expostas à carga estática (3DLAB, entre 2013 e 2021).

5.2.3 PETG

Um filamento que reúne as melhores qualidades do ABS (resistente e dúctil) com a facilidade de impressão que o PLA oferece (3DLAB, entre 2013 e 2021).

Em um aspecto geral, o filamento de PETG apresenta alta resistência ao desgaste, alta resistência a corrosão e agentes oxidantes; alta firmeza anti impacto; baixa deformação durante a impressão; boa resistência térmica (3DLAB, entre 2013 e 2021).

O filamento PETG é indicado quando necessário: peças que precisam de certa flexibilidade; alta resistência mecânica e química; boa resistência térmica; peças sujeitas a pressão (3DLAB, entre 2013 e 2021)

5.2.4 PEEK

O filamento PEEK é um material plástico de alta performance com um excelente equilíbrio de propriedades físicas. Possui um dos mais altos níveis de resistência ao calor e resistência mecânica disponíveis entre os plásticos. É também uma das melhores opções ao procurar boa resistência química, bem como resistência à radiação (ENSINGERPLASTICS, 20–?).

Recomenda-se o uso do filamento PEEK em: peças aplicadas em partes externas devido à sua excelente resistência à erosão da chuva; em peças de uso interno, devido à sua baixa fumaça e emissões tóxicas de gás e herdando a retardação da chama (PRINTIT3D, 2013).

As propriedades de cada material em formato de grão estão na Tabela 9:

Tabela 9 – Propriedades Matéria Prima - Grãos

Propriedades	**ABS**	**PETG**	**PEEK**	**PLA**
Densidade (g/cm^3)	1,04	1,27	1,31	1,24
Temp. Fusão (°C)	220,00	240,00	341,00[1]	185,00
Tg (°C)	100,00	85,00	150,00[1]	60,00
Tensão de Escoamento (MPa)	38,00	51,00	116,00[2]	66,00
Resistência à Flexão (MPa)	66,00	72,00	175,00[3]	130,00
Módulo de Elasticidade (MPa)	2200,00	2120,00	4200,00[3]	4350,00
Preço (R$/kg)	89,90	129,90	5422,74	129,90

Fonte: (3DLAB, entre 2013 e 2019) (ENSINGERPLASTICS, 20–?)

As propriedades de corpos de provas impressos com cada material estão na Tabela 10:

Tabela 10 – Resultados ensaios em corpos de provas impresso

Propriedades	**ABS**	**PETG**	**PEEK**	**PLA**
Tensão de Escoamento (MPa)	14,70[4]	18,60[4]	-	24,80[4]
Módulo de Elasticidade (MPa)	1335,90[4]	1067,90[4]	-	1896,00[4]
Tensão de Ruptura (MPa)	29,00[4]	32,60[4]	-	46,00[4]
Alongamento (%)	7,08[4]	7,74[4]	5,00[2]	3,69[4]
Dureza Shore D (Shore D)	74,00[5]	75,00[5]	-	85,00[5]
Temperatura HDT (°C)	86,13[6]	67,30[6]	162,00[7]	55,11[6]

Fonte: (3DLAB, entre 2013 e 2019)(ENSINGERPLASTICS, 20–?)

Ao analisar as propriedades de cada material, o PEEK apesar de apresentar vantagens estruturais e térmicas, possui um preço muito elevado, e já que uma de suas principais qualidades, que é de atuar em altas temperaturas, não será necessária para o projeto, ele é o primeiro a ser descartado. O PLA apesar da facilidade de impressão e boas propriedades mecânicas, possui a temperatura de transição vítrea (tg) de 60 ºC, ou seja, após 60 °C, as moléculas internas começam a se mover e a estrutura começa a deformar. Isso é muito negativo para peças que são expostas ao sol, que é o caso do projeto Damte, então o PLA também é descartado. O ABS é o mais econômico das quatro opções, é resistente e dúctil, além de possuir a temperatura de transição vítrea de 100 ºC. A outra opção é o PETG, que apresenta propriedades mecânicas semelhantes às do ABS, temperatura de

[1] DIN 5376
[2] DIN EN ISO 527-2
[3] DIN EN ISO 178
[4] Norma ASTM D 638
[5] Norma ASTM D 2240
[6] Norma ISO 75
[7] ISO-R 75 Method A

transição vítrea de 85 Cº e é a segunda opção com menor preço e ainda possui facilidade de impressão.

5.3 Dimensionamento do peso

Foi realizado uma estimativa da massa do drone mais o conjunto de sensores eletrônicos (payload). O valor encontrado se trata do peso de referência dos componentes eletrônicos somado a massa total da estrutura que foi encontrado através do CAD da mesma. O dimensionamento feito está na tabela 11.

Tabela 11 – Peso dos componentes eletrônicos presentes no drone

Componente	**Quantidade**	**Peso (g)**
Raspberry PI 3B+	1	45
Sensor Lidar SF30/B	1	36
Módulo LoRa	1	69
Conversor AD ADS1015	1	9
Servo-Motor SG90	1	9
Câmera	1	21
Controlador ESC	4	23
Pololu AltIMU-10 v5	1	0,8
Bateria	1	670
Estrutura	1	403,61
Motor	4	172
Hélice	4	30
Total	21	2163,41

Fonte: (RASPBERRY.ORG, 2018) (LIGHTWARE, 2019) (WAVESHARE, 2020) (INSTRUMENTS, 2018) (TOWERPRO, 2014) (WAVESHARE, 2015) (STMICROELECTRONICS, 2018) (POLOLU, 2016)

5.4 Otimização da estrutura

Com o objetivo de cumprir as exigências requeridas para o ponto de controle 2, o núcleo de estrutura ficou responsável pelas simulações, a fim de definir o material a ser utilizado na fabricação do drone, a posição que as peças vão ser impressas e justificar as escolhas feitas no processo de modelagem e definição das hélices e motores que vão ser utilizadas.

Para projetar a estrutura do drone, três partes principais são levadas em consideração: chassi, o braço e o suporte do motor. O foco para o ponto de controle 2 é no chassi e no braço, portanto a sequência lógica definida para o projeto é: primeiro o braço, depois o chassi e por fim o suporte do motor.

Com isso, as simulações foram realizadas para o perfil do braço do quadricóptero e chassi, as quais serão mostradas ao decorrer do ponto de controle. Assim foi possível projetar uma geometria otimizada.

5.5 Simulação para análise estrutural

Para definir o perfil do braço e chassi, foram feitas simulações para verificar o comportamento de vários perfis propostos, e a partir dessa definição, foi possível projetar o CAD do chassi, sobre o qual também foram realizadas simulações para ver como ele atuava em certas condições.

5.5.1 Método dos elementos finitos:

Na simulação, dada a complexidade da realidade, é necessário o uso de modelos para prever o comportamento dos materiais. A conversão digital deste modelo pode aplicar métodos como elemento finito. Método dos elementos finitos "contínuo discreto". Nessa perspectiva, ele simplifica o cálculo de estruturas complexas de engenharia e as torna viáveis, como esteiras, máquinas de pátio e edifícios industriais. Por meio do método dos elementos finitos no simulador, você pode ver esse elemento finito de entidade complexo em "pequenas partes". Desta forma, os cálculos e simulações necessários podem ser executados em partes menores e depois expandidos em um todo (BRASIL, 2020). A partir disso o método resolve as equações físicas que domina cada parte discretizada utilizando, para isso, uma solução numérica, que nada mais é que a utilização de operações matemáticas mais simples que aproximam do valor exato de cada equação (RODRIGUES, entre 2018 e 2020).

A confecção das geometrias assim como as simulações foram feitas utilizando o software ANSYS Student 2021 R1. Nele, a geometria inserida com pontos "infinitos"eventualmente se torna uma forma geométrica que é "quebrada"em outras formas geométricas conhecidas e menores (como triângulos, hexaedros, tetraedros). Essa "fratura"ajuda os cálculos a prever o comportamento de materiais sólidos em diferentes condições (BRASIL, 2020). A exceção da utilização do ANSYS aconteceu na confecção do chassi, por se tratar de uma geometria mais complexa foi utilizado o software Solid Works que é focado no desenvolvimento de geometrias.

5.5.2 Critério de falha:

5.5.2.1 Falha por carregamento estático:

A carga estática refere-se à carga que não muda durante a análise, ou a carga que muda pouco em um determinado intervalo de tempo. A teoria da falha de carga

estática pode ser aplicada a materiais frágeis ou dúcteis (CARRION, 2019). Existem duas principais teorias de falha:

5.5.2.1.1 Teoria da Tensão Normal Máxima (TNM)

Supõe-se que quando pelo menos uma tensão principal atinge o limite de fratura por meio de tração ou compressão, o elemento mecânico falha. Adequado para materiais frágeis (CARRION, 2019).

5.5.2.1.2 Teoria da Energia de Distorção (TED)

Mais conhecida como critério de Von Mises, essa teoria se baseia no fato de que a estrutura cristalina de um material se deforma sob tensão. Essa deformação ao chegar ao limite elástico do material se torna irreversível, fazendo com que ocorra escoamento (CARRION, 2019). Será utilizado o critério de Von Mises para avaliar os comportamentos estruturais simulados, que resulta da comparação da tensão de Von Mises encontrada na análise de resistência pelo método dos elementos finitos com o limite de escoamento do material utilizado para a fabricação de peças mecânicas.

5.5.3 Material ortotrópico

A partir das limitações do PETG e ABS como possibilidades para estrutura, surgiu uma segunda problemática além da escolha do material propriamente dita. A impressão utilizando a deposição de filamentos cria uma diferenciação de propriedades em cada direção do mesmo intitulado de ortotropia, as simulações, dessa forma, levou em consideração essa diferenciação de propriedades que podem ser visualizados na seguinte tabela 12:

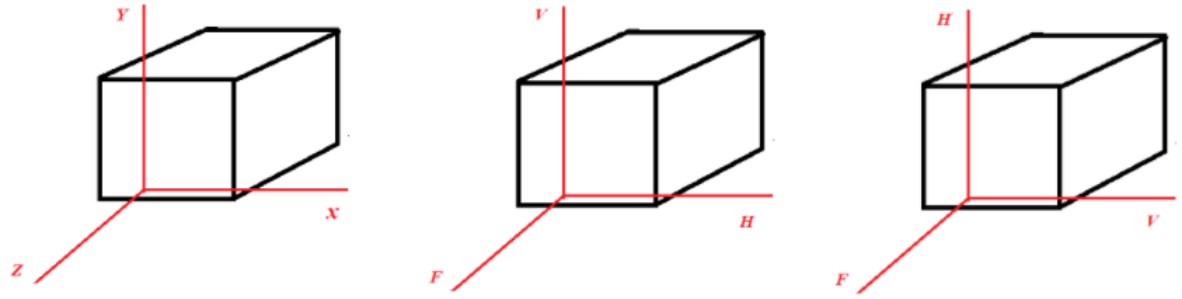
Tabela 12 – Propriedades Ortotrópicas

Propriedades	**ABS**	**PETG**
Shear Modulus H (GPa)	0,68	0,64
Shear Modulus V (GPa)	0,56	0,65
Shear Modulus P (GPa)	0,58	0,63
Poisson Ratio H	0,31	0,36
Poisson Ratio V	0,27	0,29
Poisson Ratio P	0,22	0,26
Young Modulus H (GPa)	2,20	1,80
Young Modulus V (GPa)	2,09	1,67
Young Modulus P (GPa)	2,19	1,61
Yield Strength H (MPa)	34,12	40,32
Yield Strength V (MPa)	27,40	34,16
Yield Strength P (MPa)	32,43	36,18

Fonte: (SANTOS et al., entre 2020 e 2021)

No qual “H” representa a direção horizontal que foi atribuída inicialmente a direção “x” (tal situação será representada pela sigla HX) e no segundo caso na direção “y” (tal situação será representada pela sigla HY), V representa vertical e foi atribuída inicialmente a direção “y” e no segundo caso na direção “x”, por fim “P” representa plano e foi atribuída a direção “z”. Essas coordenadas estão exemplificadas na figura 6, a seguir.

Figura 6 – Direções Ortotrópicas



Fonte: Autoria própria

5.5.4 Malha

A malha expressa a divisão dos elementos do objeto de pesquisa por meio de equações, garantindo assim a investigação de múltiplos pontos. Portanto, a precisão da qualidade da malha dependerá da modelagem, da geração da malha e de outros recursos usados na simulação (GIL, 2015).

A malha é a representação da união das subdivisões dos elementos, portanto a eficiência da malha dependerá da adaptabilidade do refinamento. Essa melhoria depende de operações aritméticas proporcionais ao elemento finito. A malha tem muitos tipos de modelagem, especialmente triângulos, quadriláteros, hexaedros (GIL, 2015).

5.6 Braço do drone

O drone de asa rotativa apresenta uma menor estabilidade em relação ao de asa fixa, mas é possível compensar essa estabilidade ao planejando uma maior estrutura. A partir dessa ideia, foi realizada uma pesquisa sobre os drones quadricópteros mais utilizados para mapeamento para obter uma base de comprimento para o braço do drone. Três modelos de drone foram analisados, Mavic 2 Pro, Mavic Air, Phantom 4 Pro. Como a estrutura vai ser fabricada por impressão 3D, nós nos baseamos no modelo com a estrutura mais simples e que pode aguentar uma maior carga de peso, assim o modelo de base escolhido foi o Mavic 2 Pro e o comprimento do braço para o protótipo definido foi de 150 mm.

Tabela 13 – Dimensões do Mac 2 Pro

Dimensões (mm)						**Distância diagonal (mm)**
Dobrada			Desdobrada			
Comprimento	Espessura	Altura	Comprimento	Espessura	Altura	354
214	91	84	322	242	84	

Fonte: (DJI, entre 2020 e 2021)

5.6.1 Simulações do braço

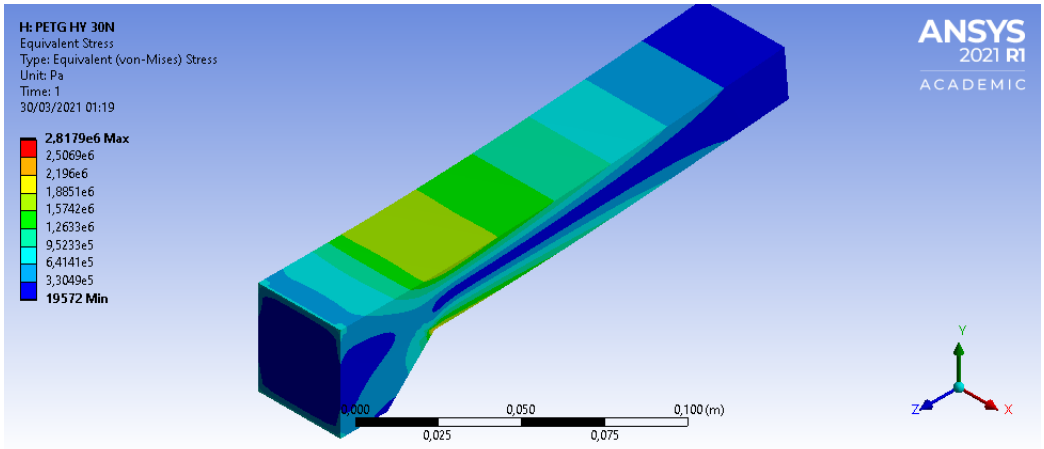
Um primeiro teste foi feito com o intuito de concentrar tensões de forma intencional, para que assim, fosse validado em uma condição extrema o provável material a ser escolhido, além das direções ortotrópicas, desta forma, um chanfro foi desenhado na base da geometria, como pode ser visualizado nas figuras 7 e 8. Como condições de contorno, para essa validação, foram utilizadas forças de 20N e 30N, com variação ortotrópica nas direções "x" e "y" respeitando as coordenadas representadas na figura 6, utilizando os materiais PETG e ABS e o chanfro fixado. Essas forças foram estimadas de forma exagerada considerando um empuxo, força necessária em cada motor, de 2 e 3 kg, ou seja, consideramos que o drone fosse ter uma massa total variando de 8 kg a 12 kg.

$$Empuxo = \frac{MassaTotal}{QuantidadeDeMotores}(kg) \tag{5.1}$$

$$ForçaDeEmpuxo = Empuxo * AceleraçãoDaGravidade(N) \tag{5.2}$$

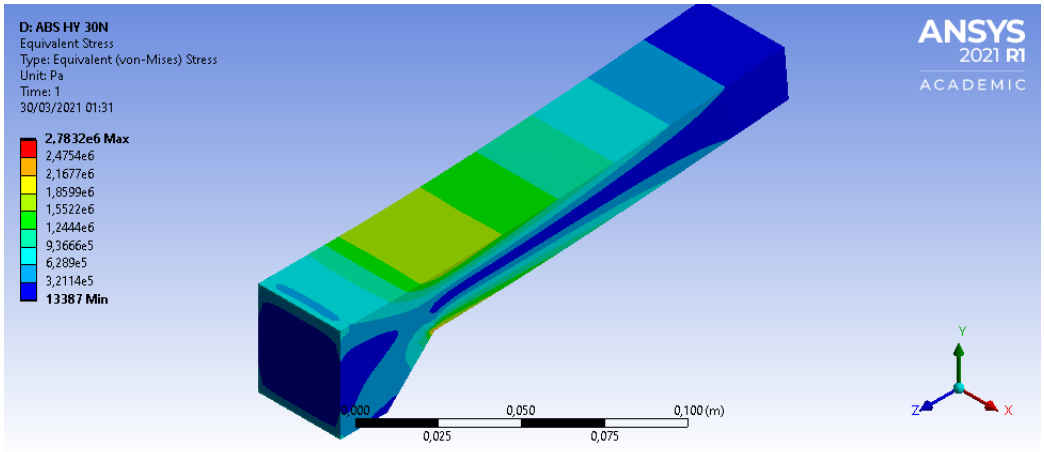
A geometria utilizada tem as dimensões do seu perfil retangular igual a 35x20mm, onde o 35 corresponde à largura, 20 corresponde à altura.

Figura 7 – Chanfro PETG HY 30N



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Ansys

Figura 8 – Chanfro ABS HY 30N



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Ansys

O perfil com chanfro utilizando o material PETG apresentou uma deformação aceitável de 1,2 e uma tensão máxima de 2,8 MPa muito abaixo da tensão de escoamento de 18,6 MPa presente na tabela 10, validando, dessa forma, o possível material. Já o perfil com chanfro utilizando o material ABS ficou com uma deformação aceitável de 0,9 mm e uma tensão máxima de 2,8 MPa muito abaixo da tensão de escoamento de 14,7 MPa presente na tabela 10, validando, dessa forma, o possível material, esses resultados podem ser observados nas figuras 7 e 8 e nas tabelas 15 e 17.

5.6.2 Resultados

Conseguinte foi dimensionado uma série de geometrias baseadas em drones presentes no mercado, em especial o MAC 2 PRO, para a delimitação do dimensionamento dos braços e chassi do drone. as dimensões dos perfis quadrados sugeridos apresentam três termos, onde o primeiro corresponde à largura, o segundo corresponde à altura, e o terceiro valor corresponde ao tamanho da parede. Em casos de perfis circulares, as dimensões têm apenas dois termos, o primeiro correspondente ao diâmetro e o segundo correspondente à parede do perfil. As forças das condições de contorno foram novamente 20N e 30N, sendo que uma ponta do braço é fixada e a força é aplicada na ponta livre. Foi considerada a variação ortotrópica nas direções “x” e “y” respeitando as coordenadas representadas na figura x, utilizando os materiais PETG e ABS Dessas mesmas simulações foram determinadas o material e a direção da impressão 3D. Os resultados podem ser visualizados nas tabelas a seguir:

Tabela 14 – Resultados das Simulações dos Braços com ABS H = x; V = y; F = z

		20 N		30 N	
Perfil	Massa (g)	σ (MPa)	Δmáx (mm)	σ (MPa)	Δmáx (mm)
Chanfro	160,16	1,82	0,61	2,73	0,91
Quadrado 30x30x3 (mm)	50,54	1,79	0,31	2,68	0,47
Quadrado 25x25x3 (mm)	41,18	2,53	0,53	3,79	0,79
Circular 25x1,25 (mm)	14,55	6,13	1,69	9,19	2,53
Circular 25x2,5 (mm)	27,57	3,64	0,97	5,46	1,46
Circular 15x1,75 (mm)	11,36	14,11	6,46	21,16	9,69
Circular 15x3,5 (mm)	19,72	10,69	4,57	16,04	6,85
Retangular 20x30x3 (mm)	41,18	2,23	0,40	3,34	0,60

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Tabela 15 – Resultados das Simulações dos Braços com ABS H = y; V = x; F = z

		20 N		30 N	
Perfil	Massa (g)	σ (MPa)	Δmáx (mm)	σ (MPa)	Δmáx (mm)
Chanfro	160,16	1,85	0,60	2,78	0,90
Quadrado 30x30x3 (mm)	50,54	1,85	0,30	2,78	0,46
Quadrado 25x25x3 (mm)	41,18	2,62	0,52	3,92	0,78
Circular 25x1,25 (mm)	14,55	6,10	1,67	9,14	2,51
Circular 25x2,5 (mm)	27,57	3,68	0,96	5,52	1,44
Circular 15x1,75 (mm)	11,36	14,22	6,44	21,32	9,66
Circular 15x3,5 (mm)	19,72	11,05	4,56	16,57	6,83
Retangular 20x30x3 (mm)	41,18	2,31	0,39	3,47	0,59

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Tabela 16 – Resultados das Simulações dos Braços com PETG H = x; V = y; F = z

		20 N		30 N	
Perfil	Massa (g)	σ (MPa)	Δmáx (mm)	σ (MPa)	Δmáx (mm)
Chanfro	195,58	1,87	0,80	2,80	1,21
Quadrado 30x30x3 (mm)	61,72	1,89	0,40	2,84	0,60
Quadrado 25x25x3 (mm)	50,29	2,69	0,69	4,03	1,04
Circular 25x1,25 (mm)	17,77	6,02	2,24	9,03	3,35
Circular 25x2,5 (mm)	33,66	3,71	1,29	5,57	1,94
Circular 15x1,75 (mm)	13,88	13,97	8,71	20,96	13,067
Circular 15x3,5 (mm)	24,09	11,16	6,17	16,74	9,26
Retangular 20x30x3 (mm)	50,29	2,38	0,52	3,56	0,78

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Tabela 17 – Resultados das Simulações dos Braços com PETG H = y; V = y; F = z

		20 N		30 N	
Perfil	Massa (g)	σ (MPa)	Δmáx (mm)	σ (MPa)	Δmáx (mm)
Chanfro	195,58	1,88	0,80	2,82	1,20
Quadrado 30x30x3 (mm)	61,72	1,98	0,40	2,97	0,60
Quadrado 25x25x3 (mm)	50,29	2,80	0,69	4,21	1,04
Circular 25x1,25 (mm)	17,77	6,06	2,24	9,09	3,35
Circular 25x2,5 (mm)	33,66	3,80	1,29	5,70	1,94
Circular 15x1,75 (mm)	13,88	14,09	8,71	21,14	13,06
Circular 15x3,5 (mm)	24,09	11,53	6,17	17,29	9,25
Retangular 20x30x3 (mm)	50,29	2,49	0,52	3,73	0,78

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

5.6.3 Escolha do Braço

5.6.3.1 Geometria

Para a escolha da geometria o primeiro aspecto de filtragem utilizado foi priorizar a menor massa possível, dessa forma, percebe-se uma sobreposição nas geometrias circulares,

contudo, a (15x1,7), a (25x1,2) e a (15x3,5), apresentam deformações altas indesejáveis para o projeto independente de material, direção de filamento e carga, utilizando desse critério a próxima geometria foi a (25x2,5) que apresenta valores aceitáveis para todos os casos independente do material, inicialmente ela foi escolhida.

Contradizendo a ideia inicial, o diferencial de peso entre a geometria circular (25x2,5) e a quadrada (30x30x3) foi menos de 20g em ambos os materiais, o que iria interferir pouco no peso da estrutura e também no preço da fabricação e levando em consideração que o drone poderia ser necessário em condições adversas de tempo, priorizou, assim, a segurança do drone, resultando na geometria quadrada.

5.6.3.2 Material

A escolha do material se deu a partir da priorização com o fator de segurança. O PETG apresenta uma tensão de escoamento de 18,6 MPa enquanto o ABS apresenta um valor 14,7 MPa, isso causa uma vantagem em relação ao PETG que mesmo ostentando deformações e tensões maiores tem uma distância em relação a tensão de escoamento superior.

5.6.3.3 Direções Ortotrópicas

Assim como as escolhas anteriores a prioridade em relação às direções ortotrópicas do PETG se deu a partir do maior distanciamento em relação a tensão de escoamento, ou seja, uma priorização ao fator de segurança, dessa forma, a direção do filamento determinada foi "H" = "x", sua superioridade pode ser visualizada nas tabelas 16 e 17.

5.6.3.4 Fator de segurança

A partir da escolha do braço foi possível o cálculo do fator de segurança. Como a tensão de escoamento do PETG é 18,6 MPa, dividimos esse valor por 1,5 para obter a tensão admissível e assim temos 12,4 MPa como a tensão base para podermos trabalhar com segurança. O resultado do perfil (30x30x3) HX sob carga de 20 N apresentou tensão máxima de 1,89 MPa, sendo 6.56 vezes menor do que a tensão admissível, e para a carga de 30 N, o perfil apresentou tensão máxima de 2,83 MPa, que é 4.37 vezes menor que a tensão admissível, assim ambos os resultados estão dentro do valor de segurança.

$$\sigma adm = \frac{\sigma esc}{1,5} \tag{5.3}$$

Onde:

σadm: é a tensão admissível (MPa)

σesc: é a tensão de escoamento (MPa)

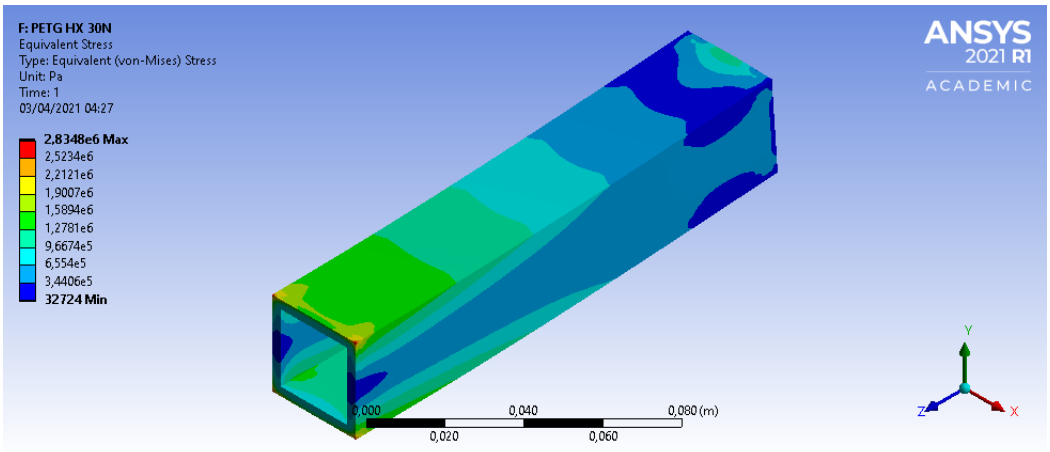
$$FatorDeSegurança = \frac{\sigma adm}{\sigma encont} \tag{5.4}$$

σadm: é a tensão admissível (MPa)

$\sigma encont$: é a tensão encontrada na simulação (MPa)

O braço escolhido foi o (30x30x3) PETG HX que pode ser visualizado na figura a seguir com um carregamento de 30N em uma simulação de estresse equivalente:

Figura 9 – Perfil 30303 PETG HX 30N



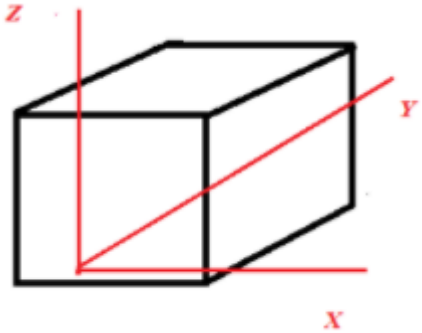
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Ansys

5.7 Frame

5.7.1 Resultados

O frame é dado pela junção do chassi com os braços, através das simulações estruturais do mesmo é possível ter uma ideia geral da estrutura do drone, já que ele representa toda a parte esquelética do mesmo. As simulações dos frames foram feitas em direções diferentes em relação ao braço, para que as propriedades ortotrópicas não se alterassem foi considerado a direção “y” dos frames igual a direção “-z” dos braços e a direção “z” dos frames foi considerado igual a direção “y” dos braços. As coordenadas dos braços podem ser visualizadas na figura 10.

Figura 10 – Cordenadas dos frames



Fonte: Autoria própria

O resultado das simulações dos frames juntamente com uma geometria montada do frame, proteção eletrônica e suporte podem ser vistas a seguir:

Tabela 18 – Resultados das Simulações dos Frames com ABS H = x; V = y; F = z

		20 N		30 N	
Perfil	Massa (g)	σ (MPa)	Δmáx (mm)	σ (MPa)	Δmáx (mm)
Frame v1	270,92	212,50	18,70	318,76	28,05
Frame v2	225,23	36,62	6,22	54,93	9,33
Frame v3	263,16	4,30	0,70	6,46	1,04
Geometria Montada	330,51	4,20	0,67	6,29	1,00

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Tabela 19 – Resultados das Simulações dos Frames com ABS H = y; V = x; F = z

		20 N		30 N	
Perfil	Massa (g)	σ (MPa)	Δmáx (mm)	σ (MPa)	Δmáx (mm)
Frame v1	270,92	222,24	20,65	333,35	30,97
Frame v2	225,23	36,88	6,50	55,31	9,76
Frame v3	263,16	4,26	0,73	6,40	1,10
Geometria Montada	330,51	4,28	0,70	6,41	1,06

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Tabela 20 – Resultados das Simulações dos Frames com PETG H = x; V = y; F = z

		20 N		30 N	
Perfil	Massa (g)	σ (MPa)	Δmáx (mm)	σ (MPa)	Δmáx (mm)
Frame v1	330,83	188,40	20,98	282,59	31,46
Frame v2	275,04	35,63	6,74	53,44	10,12
Frame v3	321,36	4,04	0,73	6,06	1,10
Geometria Montada	403,61	4,40	0,70	6,60	1,05

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Tabela 21 – Resultados das Simulações dos Frames com PETG H = y; V = y; F = z

		20 N		30 N	
Perfil	Massa (g)	σ (MPa)	Δmáx (mm)	σ (MPa)	Δmáx (mm)
Frame v1	330,83	212,13	21,46	318,19	32,18
Frame v2	275,04	33,54	6,82	50,31	10,23
Frame v3	321,36	4,23	0,77	6,34	1,10
Geometria Montada	403,61	4,49	0,71	6,73	1,06

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

5.7.2 Geometria

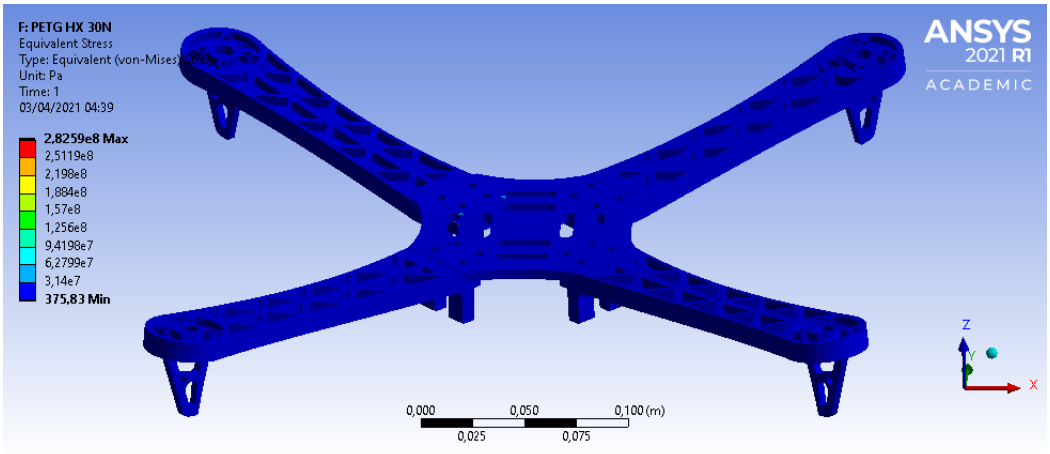
Inicialmente foi desenhado um frame com excesso de furos e concentração de tensão (frame v1) o que ocasionou uma peça frágil, sendo assim, criou-se uma segunda geometria com o intuito de melhorar a primeira (frame v2), contudo ela manteve uma concentração de tensão grande o que foi necessário ser reforçado em uma terceira versão (frame v3).

5.7.3 Material

As condições em relação a escolha do material se repetiu no chassi, os valores em relação a diferença da tensão calculada na simulação e a tensão de escoamento favoreceu o PETG, dessa forma, fixou o material.

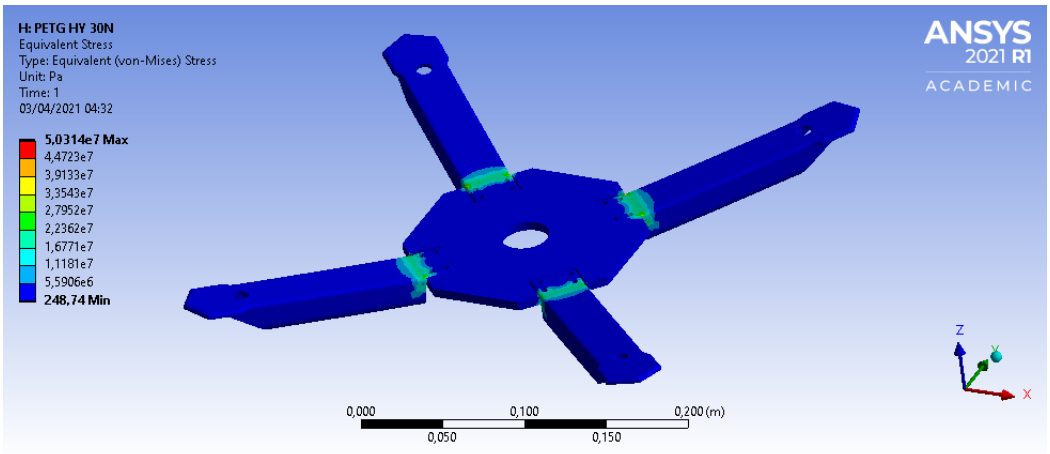
A evoluação do frame pode ser visto pelas figuras 11, 12 e 13 a seguir:

Figura 11 – Frame v1 PETG HX 30N



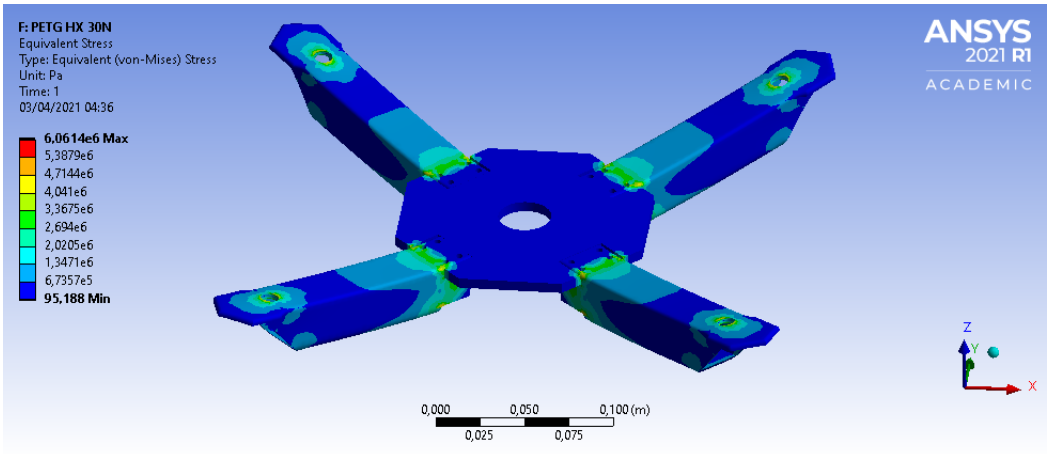
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando os Softwares SOLIDWORKS e Ansys

Figura 12 – Frame v2 PETG HY 30N



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando os Softwares SOLIDWORKS e Ansys

Figura 13 – Frame v3 PETG HX 30N



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando os Softwares SOLIDWORKS e Ansys

5.7.4 Direções Ortotrópicas

Assim como no braço a prioridade em relação às direções ortotrópicas do PETG se deu a partir do maior distanciamento em relação a tensão de escoamento, ou seja, uma priorização ao fator de segurança, dessa forma, a direção do filamento determinada foi "H" = "x", sua superioridade pode ser visualizada nas tabelas 20 e 21.

5.7.5 Fator de Segurança

Como já discorrido no tópico 5.6.3.4 12,4 MPa é a tensão base para podermos trabalhar com segurança. O resultado frame v3 HX sob carga de 20 N apresentou tensão máxima de 4,04 MPa, sendo 3.07 vezes menor do que a tensão admissível, e para a carga de 30 N, o perfil apresentou tensão máxima de 6,06 MPa, que é 2.05 vezes menor que a tensão admissível, assim ambos os resultados estão dentro do valor de segurança.

5.8 Autonomia de voo

A partir da geometria encontrada foi possível fazer uma estimativa de peso mais precisa de todo o conjunto do drone. Os componentes eletrônicos estão com massa total de 327,08 g e a estrutura com 400 g. Considerando a parte que vai proteger a eletrônica, os fios, e uma margem de segurança para a massa, a estimativa de peso total do drone sem baterias e motor é 1200 g. A partir dessa estimativa foi possível definir o motor e as hélices que serão utilizadas no projeto.

5.8.1 Motores e hélices

O motor elétrico transforma energia elétrica em mecânica,que deve proporcionar empuxo suficiente para a elevação do drone (SILVA; CORDEIRO, 2011). Apesar de haver diversos tipos de classificação para motores elétricos, dois se destacam, os motores com escovas e os sem escovas conhecidos como ("brushless"). Em drones por necessitarem de motores que possuem regime de trabalho em altas rotações e potência elevada, os motores de indução ("brushless") são mais utilizados devido sua eficiência e durabilidade (DEMOLINARI, 2016).

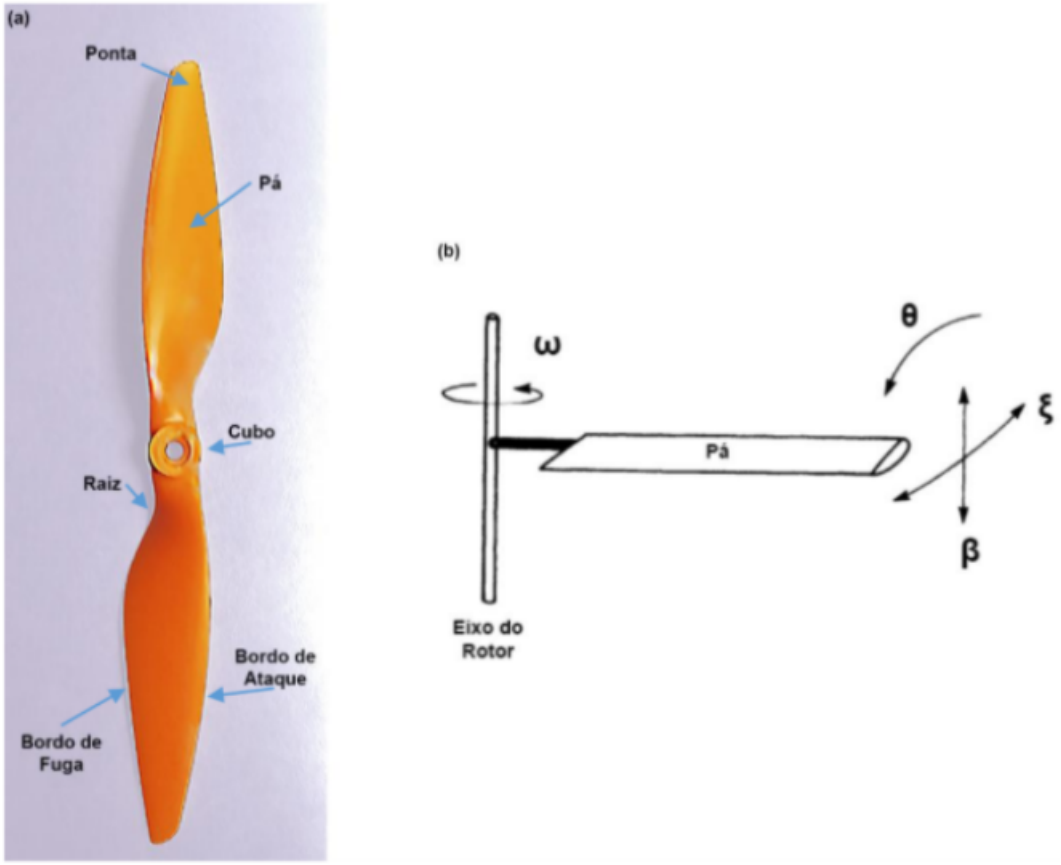
Os motores sem escova tem como característica principal três cabos conectores em seu acionamento e controle de rotação. Os motores de indução trifásicos comuns, operam em pequenas faixas de velocidade que variam conforme a frequência da corrente, outra desvantagem desse tipo de motor e sua baixa performance em situações transientes.Porém com introdução de eletrônica de potência, o que permitiu a construção de inversores que fornecem corrente em frequência variável, o que permitiu que esses motores fossem utilizados em diversas aplicações (DEMOLINARI, 2016).

Atualmente no mercado existem diversos fabricantes de motores brushless, que fornecem motores com variadas potências. Por depender exclusivamente dos motores para voar e manobrar esse motor deve ter potência suficiente para cumprir com esses objetivos.

As hélices são responsáveis por gerar o empuxo para o drone, por meio da movimentação de massas de ar, assim como os motores existem diversos fabricantes de hélices, que as fabricam em diversos materiais como: nylon, madeira, fibra de carbono, entre outros. O diâmetro e o passo são as principais características que resultam em diferentes valores de velocidade, empuxo e torque (SILVA; CORDEIRO, 2011).

As hélices de drones geralmente possuem passo fixo. O passo é associado ao ângulo da seção β da hélice, que indica a sua inclinação ao eixo longitudinal central. O passo, indica o quanto essa hélice seria deslocada realizando um giro completo, essa é uma medida teórica, que não leva em conta, por exemplo, o arrasto aerodinâmico nem a compressão do ar (DEMOLINARI, 2016). A variação no passo da hélice pode gerar variação no empuxo; Sendo maior, provoca um maior empuxo, porém exige mais torque do motor o que provoca aumento na corrente de acionamento, Sendo menor, gera menos empuxo, entretanto exige um menor esforço do motor (DEMOLINARI, 2016).

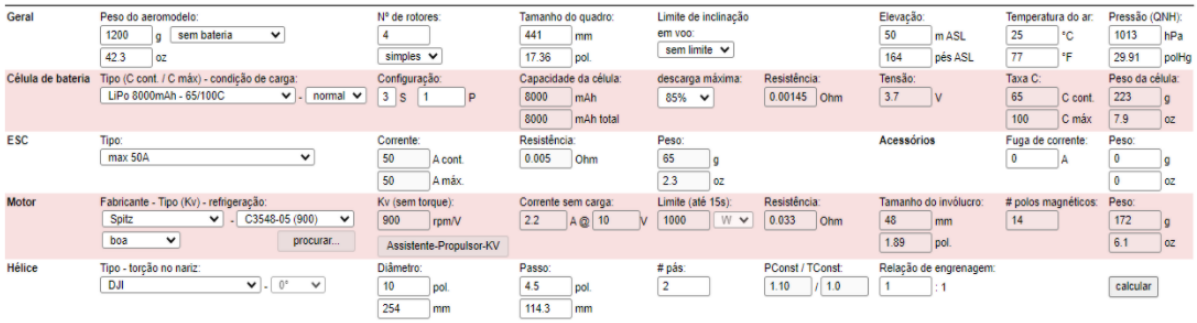
Figura 14 – Hélice



Fonte: (DEMOLINARI, 2016)

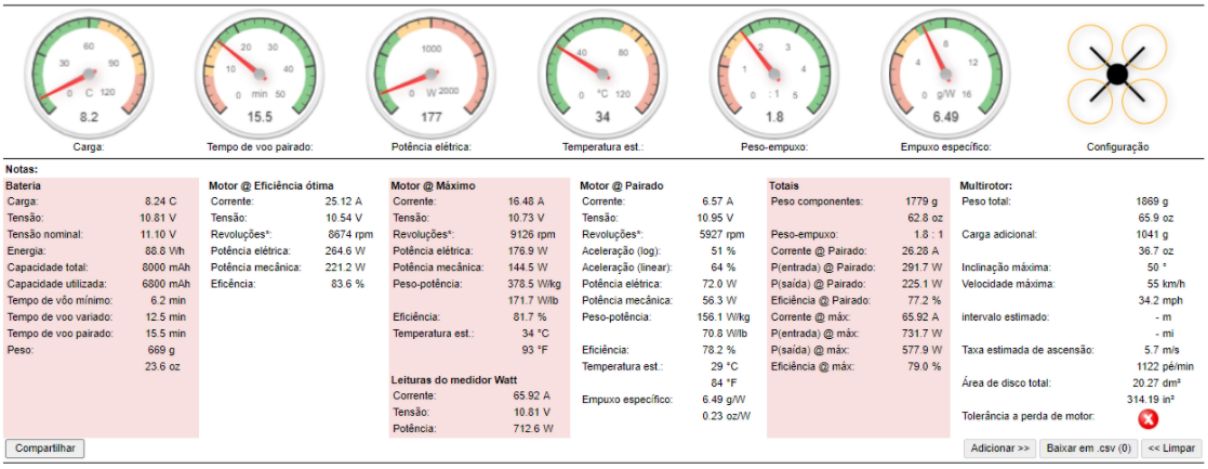
A escolha dos motores e hélices foram feitos com base em simulação no software ecalc, que foi recomendado por diversos blogs especializados na área. O software tem em sua base de dados, as características de motores e hélices disponíveis no mercado. A partir de inputs como peso do drone, tamanho do chassi, e altura de trabalho, entre outros, podemos avaliar se os motores e hélices são adequados para o drone. A imagem abaixo mostra a tela inicial desse software, no qual os dados do drone já foram inseridos.

Figura 15 – Entradas



Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software E-calc

Figura 16 – Resultados



Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software E-calc

As simulações foram feitas estimulando um peso de 1200 gramas para o conjunto chassi e componentes eletrônicos, entretanto essa massa não considerava o peso da bateria e dos motores. O peso de um drone é um fator fundamental, pois o esse influencia de forma negativa a capacidade de voar do drone. Ao adicionarmos as massas de bateria e dos motores uma massa de aproximadamente 1869 gramas foi encontrada. Com base nessa massa, o drone precisa de um empuxo mínimo por motor de aproximadamente 468 gramas. Esse valor de empuxo por motor foi encontrado dividindo a massa total pelo número de motores. Em blogs especializados em drones é recomendado uma relação de empuxo peso de no mínimo 1,8 a 2,4 para o drone que está sendo projetado. Com base em simulação, foi possível escolher os motores e hélices que serão utilizados. O motor

escolhido foi o da marca Spitz modelo C3548-05 (900) e a hélice da marca DJI de 10 polegadas de diâmetro e passo de 4,5 polegadas.

Esses motores e hélices, proporcionam uma relação de empuxo de 1,8 o que está dentro da margem recomendada para o drone a ser fabricado. A seguir será apresentado os inputs, tabela 22, dados da hélice e motor obtidos, tabela 23 e os resultados adquiridos por essa simulação estão na tabela 24 a seguir.

Tabela 22 – Entradas

Geral	
Peso sem bateria	1200 g
Número de rotores	4
Tamanho do quadro	441 mm
Limite de inclinação de voo	sem limite
Elevação	50 mASL
Temperatura do ar	25°C
Pressão (QNH)	1013 hPa
Célula de bateria	
Tipo (C. cont./C. máx)	LiPo 8000 mAh - 65/100C
Configuração	3 S 1 P
Descarga máxima	85
ESC	
Tipo	max 50 A
Fuga de corrente	0 A
Peso	0 g

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software E-calc

Tabela 23 – Motor e hélice

Motor	
Fabricante	Splitz
Kv (sem torque)	900,00 rpm/V
Corrente sem carga	2,20 A 10,00 V
Limite (Até 15 s)	1000,00 W
Resistência	0,33 Ohm
Tamanho do Invólucro	48,00 mm
Poloes magnéticos	14,00
Peso	172,00 g
Hélice	
Tipo	DJI
Diâmetro	254,00 mm
Passo	114,30 mm
Pás	2,00
PConst	1,10
TConst	1,00
Relação de engrenagem	1:1

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software E-calc

Tabela 24 – Resultados simulação E-calc

Parâmetro	**Valor**
Tempo de voo pairado	15,50 minutos
Temperatura estável	34,00 °C
Relação peso empuxo	1,80
Empuxo específico	6,49 g/W
Inclinação máxima	50,00º
Taxa estimada de ascensão	5,70 m/s

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software E-calc

5.9 Análise analítica

Com a geometria otimizada estabelecida, os motores e hélices definidos, foi possível realizar o cálculo das forças a serem aplicadas no drone para análise estrutural, assim será mostrado como foi obtido forças mais precisas para serem utilizadas nas simulações estruturais e realmente validar a estrutura projetada do drone, além de ser possível calcular os momentos de inércia do drone.

5.9.1 Empuxo

O empuxo necessário para o drone poder voar pode ser obtido dividindo a massa total do drone pela quantidade de motores. A massa total do drone é de 1869 gramas dividindo pela quantidade de motores obtém-se 468 gramas assim para obter o empuxo necessário em cada motor multiplica-se esse valor pela relação empuxo peso resultando

em 842,4 g. A equação relacionada ao cálculo mencionado é a 5.5 a seguir:

$$EmpuxoNecessário = \frac{MassaTotal}{QuantidadeDeMotores} * RelaçãoEmpuxoPeso(g) \tag{5.5}$$

Massa total do drone: 1869 g

Quantidade de motores: 4

Relação empuxo-peso: 1,8

Empuxo necessário em cada motor: 842,4 g

5.9.2 Força de empuxo

A força de empuxo exercida por cada motor pode ser obtida multiplicando o empuxo pela aceleração da gravidade. A força de empuxo necessária em cada motor em nosso projeto é 8,62 N. A equação relacionada ao cálculo mencionado é a 5.6 a seguir:

$$ForçaDeEmpuxo = EmpuxoNecessário * AceleraçãoDaGravidade(N) \tag{5.6}$$

Empuxo necessário em cada motor: 0,84 kg

Aceleração da gravidade: 9,81 m/s^2

Força de empuxo de cada motor: 8,62 N

5.10 Geometria otimizada

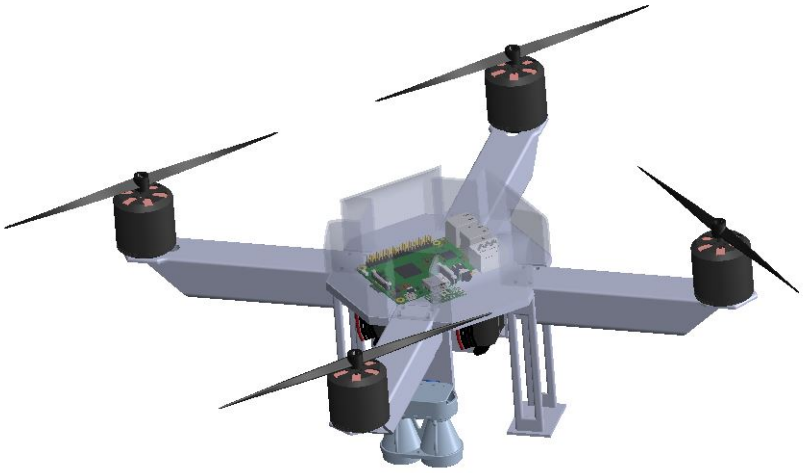
Foi usado como base para montar o chassi frame do drone F550, que é um drone bastante popular e que tem uma estrutura de extrema qualidade, porém foi realizado modificações grandes como a região central do frame do drone que foi fabricada totalmente sólida, sem otimização topológica, pois o processo de fabricação é através da manufatura aditiva, é essa tecnologia produz peças com qualidade e geometrias complexa de baixo peso.

Os braços foram reforçados com perfil quadriculado para reduzir o efeito das cargas do motor na estrutura. Os acoplamentos de todas as peças foram feitos em mesmos pontos, evitando criar muitos furos na estrutura, e acrescentar parafusos, de modo a otimizar a massa e evitar pontos de concentração de tensão.

Todas as quinas da estrutura foram filetadas para evitar concentradores de tensão, mas levando em consideração também raios de curvaturas que não fossem atrapalhar o processo de fabricação, sempre evitando ângulos maiores que 60 graus.

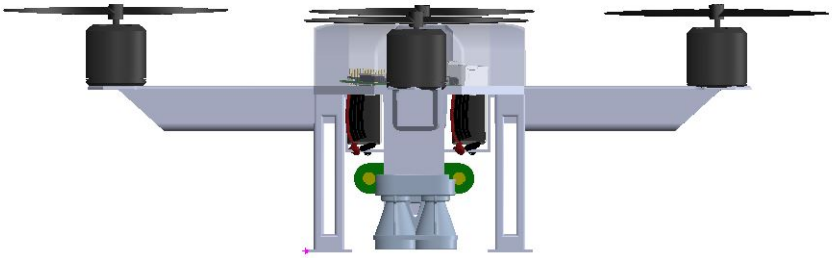
Nesta fase do projeto ainda não foi considerado os furos de encaixe do motor, pois isso irá depender da definição do modelo do mesmo, que estava sendo feito em paralelo com o desenvolvimento da estrutura, inviabilizando a definição deste furos a estrutura foi projetada para suporta as cargas adversas de tempo, por isso a mesma foi desenhada de modo robusto mas ao mesmo tempo utilizando-se de geometrias simples, para otimizar o processo de impressão das peças, por isso o frame foi dividido em 4 braços, frame central, trem de pouso e caixa para eletrônica. com objetivo de possibilitar a fabricação em impressoras 3d, de mesa, tal frame pode ser visualizado nas imagens 17, 18, 19 e 20 a seguir:

Figura 17 – Geometria Montada Vista Isométrica



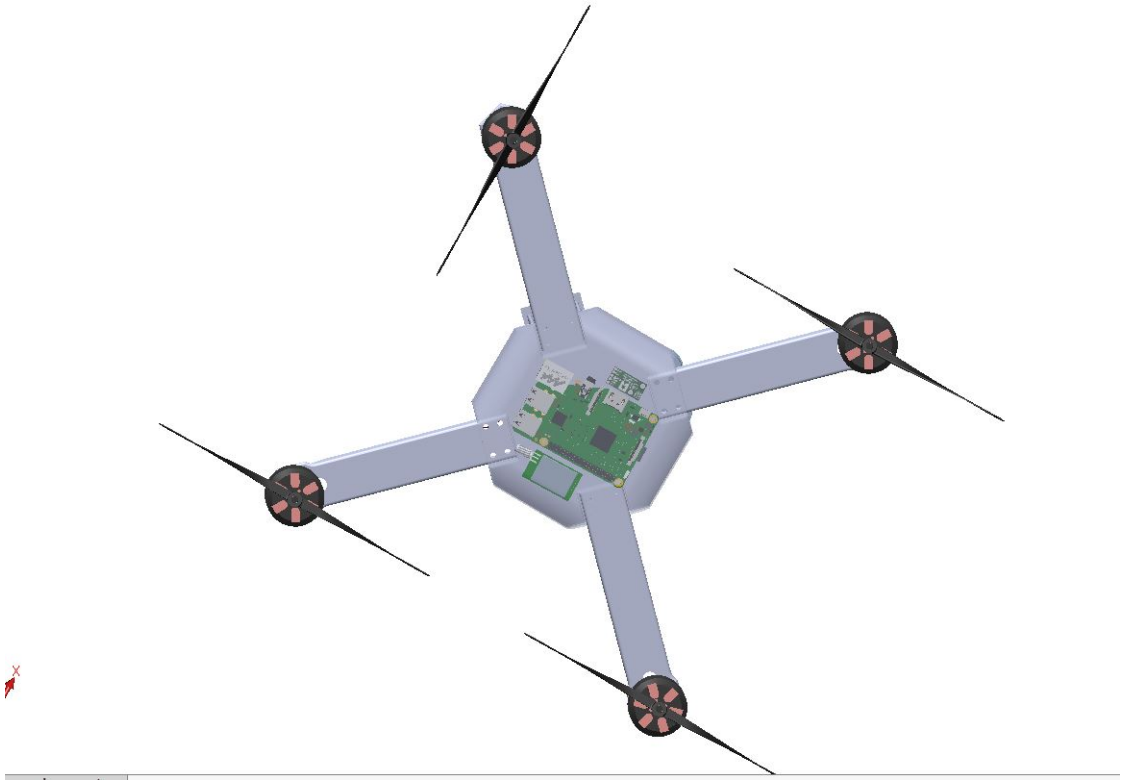
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o SOLIDWORKS

Figura 18 – Geometria Montada Vista Lateral



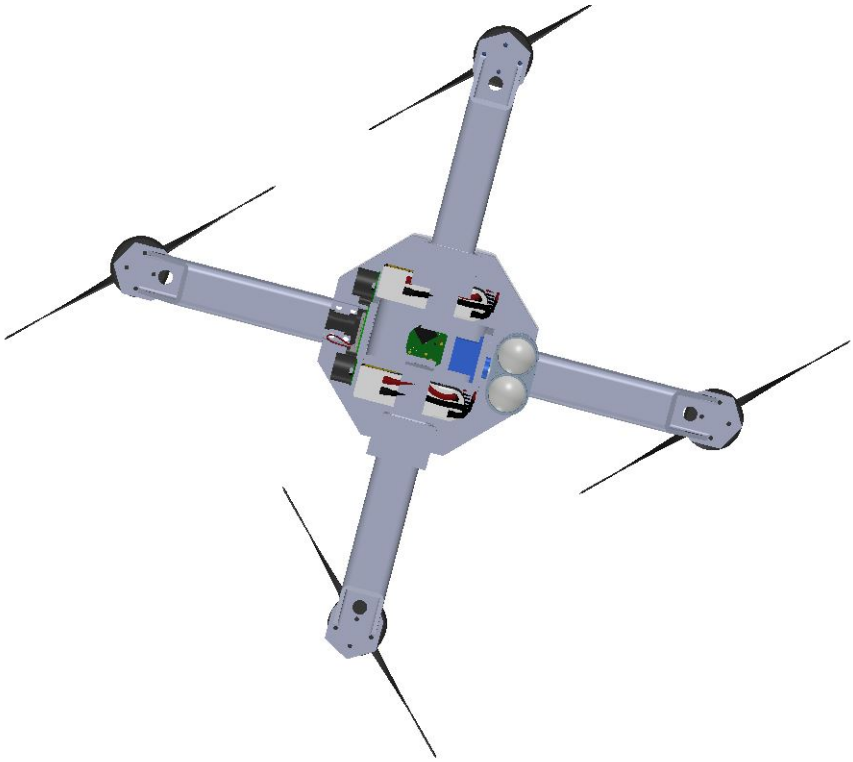
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o SOLIDWORKS

Figura 19 – Geometria Montada Vista Superior



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o SOLIDWORKS

Figura 20 – Geometria Montada Vista Inferior



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o SOLIDWORKS

5.11 Validação da geometria otimizada

A partir das escolhas de material, geometria e direções ortotrópicas do braço e frame foram feitas 3 simulações considerando o carregamento de 8,62 N para cada braço. O carregamento de 8,62 N foi dado pelo empuxo necessário de cada motor, foram obtidos os seguintes resultados, mostrados na tabela 25.

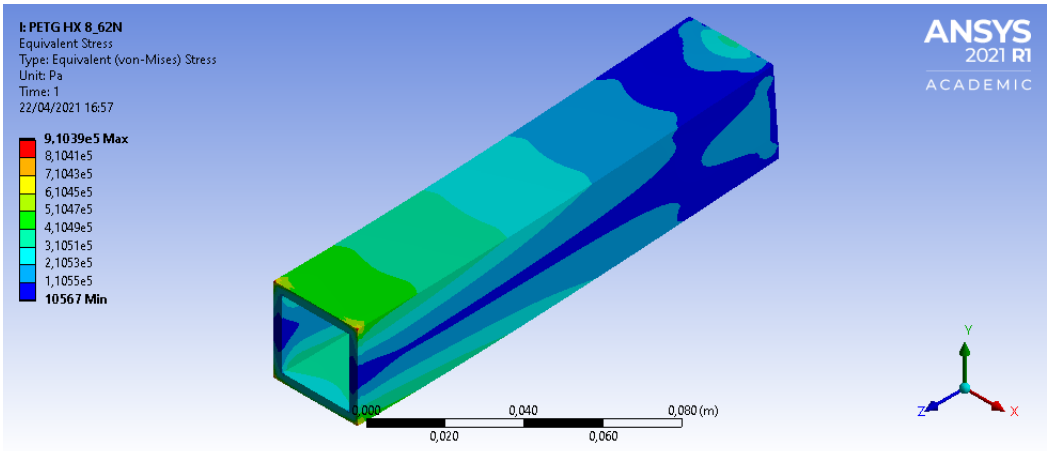
Tabela 25 – Resultados das simulações da geometria otimizada

Perfil	**Massa (g)**	σ **(MPa)**	$\Delta(mm)$
Braço 30303 PETG HX	61,72	0,91	0,17
Frame v3 PETG HX	321,36	1,73	0,32
Montagem	403,61	1,89	0,30

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

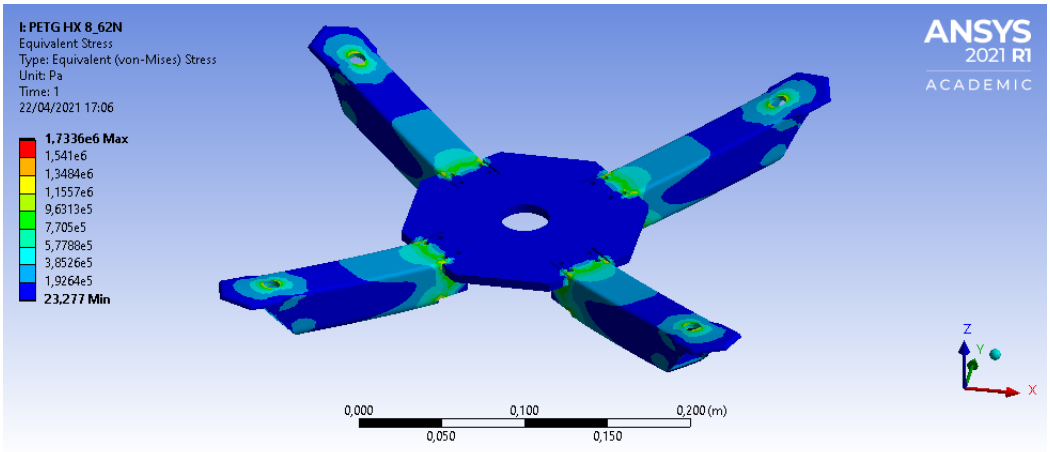
As figuras 21, 22 e 23 a seguir ilustram as geometrias otimizadas:

Figura 21 – Perfil 30303 PETG HX 8,62N



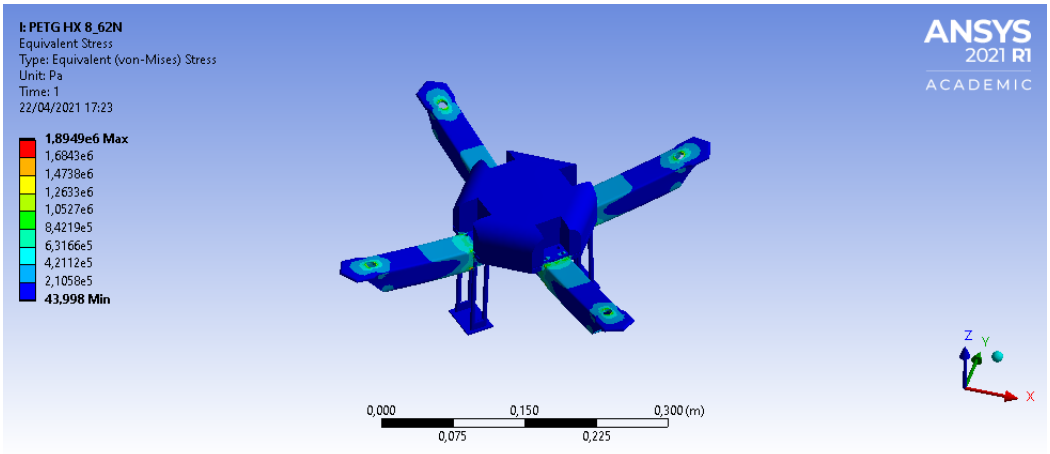
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Ansys

Figura 22 – Frame v3 PETG HX 8,62N



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Softwares SOLIDWORKS e Ansys

Figura 23 – Geometria Montada PETG HX 8,62N



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Softwares SOLIDWORKS e Ansys

As geometrias foram validadas utilizando uma força exacerbada de 20 N e como esperado os valores de 8,62 N retornaram baixo estresse. O braço, frame e estrutura montada escolhidos demonstrou a tensão máxima de 0,91 MPa, 1,73 MPa e 1,89 MPa respectivamente que comparado com a tensão admissível adotada do PETG de 12,4 MPa resulta em um valores 13,63, 7,17 e 6,56 vezes menores respectivamente, respeitando, dessa forma, o valor de segurança. Os valores de segurança altos objetivam dar à estrutura do drone uma resistência maior em casos adversos, que seja necessário resistir a tensões maiores em decorrência, por exemplo, de rajadas de ventos.

As tabelas 26, 27 e 28 a seguir representa a convergência do resultado em relação a malha, percebe-se que tanto a tensão quanto o valor do deslocamento tendem a ao resultado da malha mais detalhada, validando, dessa forma, os resultados das simulações.

Tabela 26 – Convergência da malha do braço otimizado

Nós	**Elementos**	σ **(MPa)**	$\Delta(mm)$
12780	1800	0,70	0,17
19186	2760	0,76	0,17
44376	7950	0,81	0,17
64514	11659	0,86	0,17
79776	14400	0,89	0,17
95680	17280	0,91	0,17

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Tabela 27 – Convergência da malha do frame v3

Nós	**Elementos**	σ **(MPa)**	$\Delta(mm)$
24283	10921	1,33	0,31
33187	15385	1,60	0,31
49600	24134	1,75	0,31
58973	29252	1,74	0,31
71278	35914	1,83	0,32
89027	45846	1,73	0,32

Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Tabela 28 – Convergência da malha da geometria montada

Nós	**Elementos**	σ **(MPa)**	$\Delta(mm)$
35133	16360	1,60	0,28
38855	18100	2,45	0,29
53526	25168	1,62	0,30
65129	30689	1,70	0,30
83164	40299	1,67	0,30
96638	47457	1,89	0,30

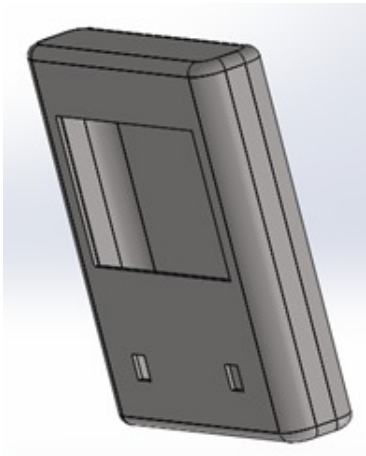
Fonte: Autoria própria, calculado utilizando o Software Ansys

Alguns valores são um pouco diferentes em relação ao valor final, isso se dá por irregularidades na malha e imprecisões do método aproximado o que não invalida o resultado como um todo.

5.12 Central de controle

A central de controle possui duas funções: controlar o drone e receber os dados obtidos pelo mapeamento. A Figura 24 representa o design final do controle remoto do Drone de Salvamento.

Figura 24 – Carcaça da Central de Controle

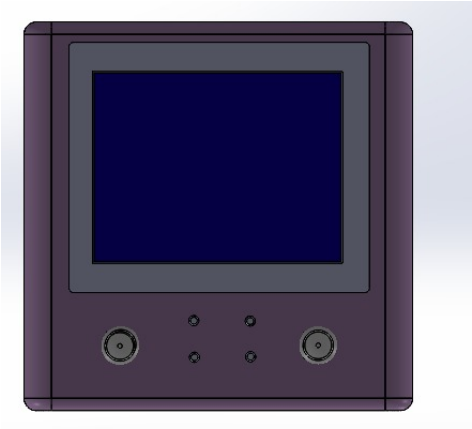


Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Softwares SOLIDWORKS

O carcaça da controle (case) tem dimensões 250x250x40 mm com espessura de parede de 3 mm, o material escolhido para a fabricação desse case foi o ABS, um material que possui um baixo custo por quilograma. A case será em impressão 3D.

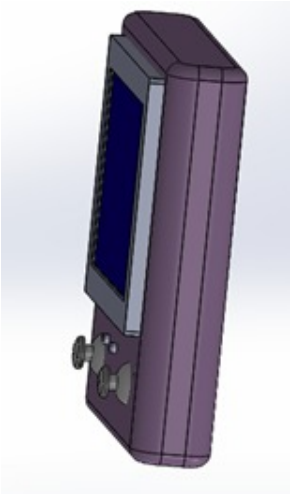
A concepção desse projeto, teve sua base em exigências dos núcleos de Eletrônica e Energia como: 2 joysticks e 4 botões para o controle do drone, uma tela de 8 polegadas para visualização do percurso e facilitar a visualização para os salvamentos. Esses componentes serão encaixados na case, como mostrado na Figura a seguir.

Figura 25 – Vista Frontal da Central de Controle



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Softwares SOLIDWORKS

Figura 26 – Vista Lateral da Central de Controle



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Softwares SOLIDWORKS

5.13 Classificação do drone

De acordo com o peso máximo de decolagem, os drones são divididos em três categorias, nas quais devem ser considerados os pesos da bateria ou combustível do equipamento e o peso da carga final transportada (ANAC, 2017b). De acordo com as normas

E94-001B e E94-002A, nosso projeto está na classe 3, drone com peso máximo de decolagem maior que 250g e até 25 kg, e a altura máxima de voo de 122 metros. O planejado para o projeto é atuar até em 50 metros, que é a altura máxima de atuação do LIDAR, assim o nosso drone está dentro das normas.

5.13.1 Regulamentação

De acordo com o manual de orientações para o usuário de drones e aeromodelos da ANAC, para operar um drone classe 3 é necessário atender aos seguintes requisitos:

- "Idade mínima de 18 anos para pilotar ou ajudar a operação como observador"(ANAC, 2017a).
- "Apenas equipamentos com o peso máximo de decolagem superior a 250 g devem ser registrados na ANAC por meio do Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT)"(ANAC, 2017a).
- "O registro gerará uma identificação que deve ser feita em material não inflamável, ser legível e acessível na aeronave"(ANAC, 2017a).
- "Os pilotos não precisam de um documento emitido pelo ANAC e são considerados devidamente licenciados se não pretendem voar a mais de 122 metros"(ANAC, 2017a).
- "É permitido operar apenas um drone por vez"(ANAC, 2017a).
- "É obrigatório possuir seguro que cobre possíveis danos a terceiros para pilotar drones com peso máximo de decolagem superior a 250g"(ANAC, 2017a).
- "É necessário fazer uma avaliação de risco operacional"(ANAC, 2017a).
- "A troca de piloto durante a operação é permitida"(ANAC, 2017a).
- "Não é necessário registrar os voos"(ANAC, 2017a).
- "Operar apenas em áreas distantes de terceiros, no mínimo 30 metros horizontais. Essa restrição está dispensada caso haja grande quantidade de pessoas próximas à operação ou exista uma barreira mecânica capaz de isolar e proteger as pessoas não envolvidas na operação"(ANAC, 2017a).
- "As operações só poderão ser iniciadas se houver autonomia suficiente da aeronave para realizar o voo e para pousar em segurança no local previsto, levando-se em conta as condições meteorológicas conhecidas"(ANAC, 2017a).

- "Não é permitido operar drones sob efeito de substâncias psicoativas e todos os operadores estão sujeitos às regras quanto ao uso de álcool e de drogas constantes do item 91.17 do Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica RBHA 91"(ANAC, 2017a).
- "Portar a certidão de cadastro junto a ANAC, o seguro, a avaliação de risco e o manual de voo do equipamento"(ANAC, 2017a).

O cadastro no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT) é obrigatório para drones classe 3 e que não voem além da vista do operador ou acima de 122 metros acima do nível do solo.

Deve ser feito um cadastro por aeronave e cada equipamento deve estar vinculado a uma pessoa ou empresa no Brasil, que será a responsável legal pela aeronave.

- "Para cadastrar é necessário informar os dados pessoais (nome, endereço, CPF, e-mail), os dados de pessoa jurídica (CNPJ), quando for o caso, os dados da aeronave (nome, modelo, fabricante, número de série e foto que identifique a aeronave) e escolher uma combinação de nove dígitos, que será o número da identificação do equipamento. O SISANT indicará automaticamente os prefixos PP (drones) e PR (aeromodelos). Essa identificação deverá ser confeccionada em material não inflamável, ser legível e ficar acessível na aeronave"(ANAC, 2017a).
- "Depois de preencher todas as informações solicitadas, o SISANT vai gerar uma certidão de cadastro, que é um documento de porte obrigatório em todas as operações. É admitido o porte digital do documento"(ANAC, 2017a).
- "O cadastro tem validade de 24 meses e pode ser revalidado em até seis meses. Passado esse prazo sem a revalidação, o mesmo será desativado e será necessário fazer um novo cadastro para o equipamento"(ANAC, 2017a).

5.14 Definições de normas

Norma ASTM D 638: Método padrão de teste para propriedades de tração de plásticos (ABNT, 2014).

Norma ASTM D 2240: Método de teste padrão para propriedade de borracha - Dureza do durômetro (ABNT, 2015).

Norma ISO 75: Plásticos - Determinação da temperatura de deflexão sob carga (ABNT, 1993).

DIN EN ISO 527-2: Plásticos - Determinação das propriedades de tração - Parte 2: Condições de teste para moldagem e extrusão de plásticos (ISO, 2012).

DIN EN ISO 178: Plásticos - Determinação das propriedades de flexão (ISO, 2019).

DIN 5376: Transmissores de velocidade de revolução para engenharia mecânica (DIN, 1974).

ISO-R 75 Method A: Plásticos - Determinação da temperatura de deflexão sob carga (ISO, 2020).

E94-001B. Autorização de Projeto de Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada - Procedimentos Gerais (ANAC, 2017b).

E94-002A. Autorização de Projeto de Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada - RPAS - Requisitos Técnicos (ANAC, 2019).

6 Software

A área de Software será encarregada de produzir algoritmos auxiliares ao funcionamento motor do Damte, além de desenvolver algoritmos responsáveis por:

- Mapeamento do terreno com base nos dados fornecidos pelo LiDAR.
- Calcular menor rota segura no caso de emergência para o Damte.
- Enviar impulsos elétricos responsáveis por fazer o drone voltar até o ponto inicial.
- Salvar as posições do drone e dados de mapeamento ao longo do tempo utilizando Blockchain.
- Criar uma imagem baseada nos pontos gerados pelo mapeamento.
- Enviar dados responsáveis por fazer o drone voltar até o ponto onde ocorreu a situação de emergência.

6.1 Arquitetura de Software

Esse documento mostra uma visão geral do projeto Damte no quesito de arquitetura, de forma a mostrar como o mesmo estará sendo desenvolvido.

6.1.1 Finalidade

Este documento oferece uma visão geral arquitetural do projeto em si. O objetivo deste documento é capturar e comunicar as decisões arquiteturais significativas que foram tomadas em relação ao Damte e como ele será integrado ao hardware.

6.1.2 Escopo

No documento são abordados temas relacionados com a arquitetura do projeto, como a visão geral, a visão de implementação, o desempenho e a qualidade.

6.1.3 Dispositivos e serviços

- *Raspberry Pi*: Computador de baixo custo do tamanho de um cartão de crédito (RASPBERRYPI.ORG, 20–?).

- *Blockchain*: Estrutura de dados que utiliza blocos ligados um ao outro para manter segurança dos dados. (CONWAY, 2020)
- *LiDAR*: sensor que compreende o mundo em 3D usando feixes de laser e medindo o tempo que leva para o laser retornar. A saída é uma nuvem de pontos (COHEN, 2020).

6.1.4 Visão Geral

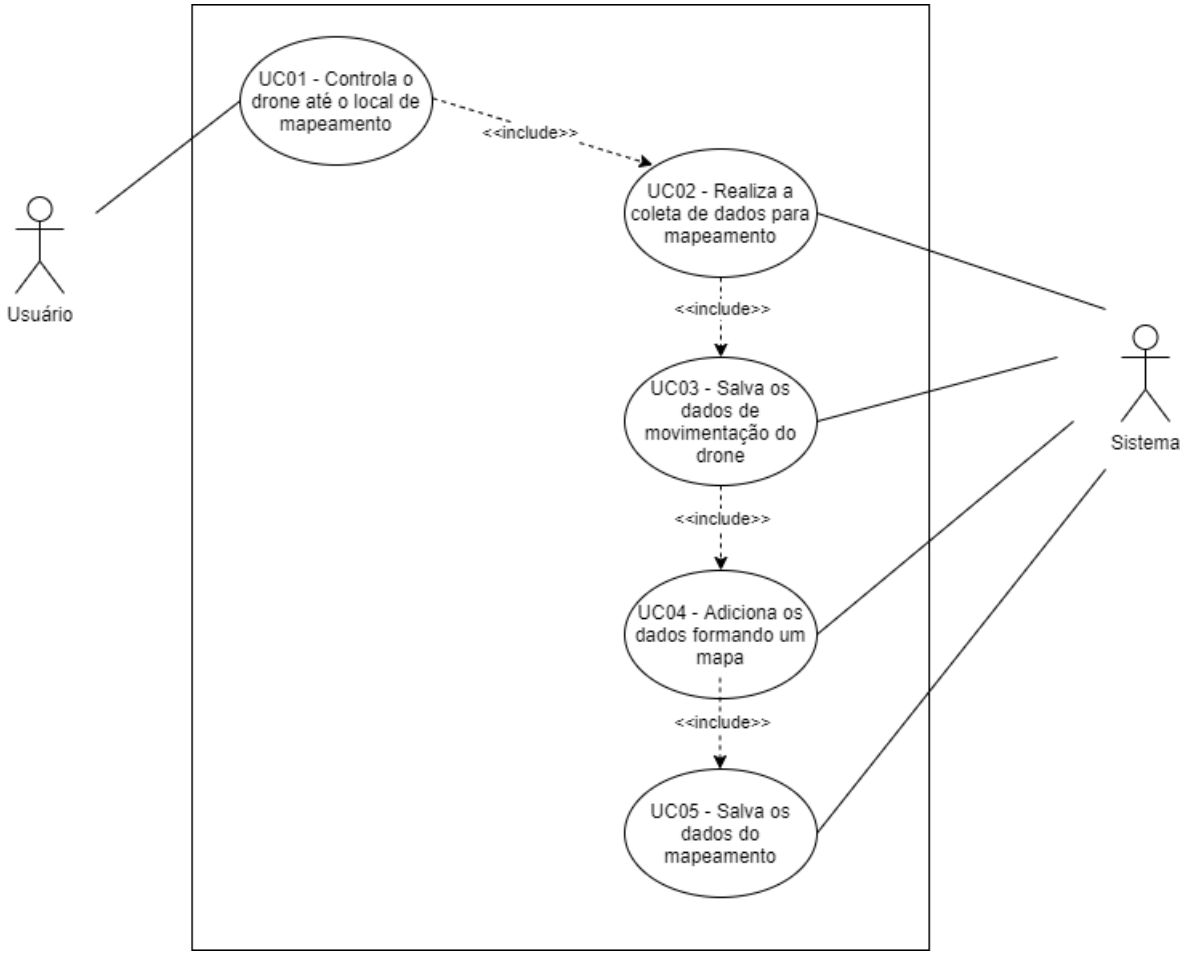
O documento tem suas respectivas visões e em cada uma delas seu enunciado ou diagrama que a representa.

6.1.5 Casos de uso

Os casos de uso documentam o que o projeto de software irá fazer no ponto de vista de algum ator, no caso o usuário, descrevendo suas principais funcionalidades e integrações com outras partes do projeto (RIBEIRO, 2012).

Na figura 27 é explicado como ocorre o mapeamento pelo sistema, onde o usuário leva o drone até o local onde será feito o mapeamento e o drone realiza a coleta e salvamento dos dados em um formato de pontos com 3 dimensões.

Figura 27 – Diagrama de casos de uso do mapeamento

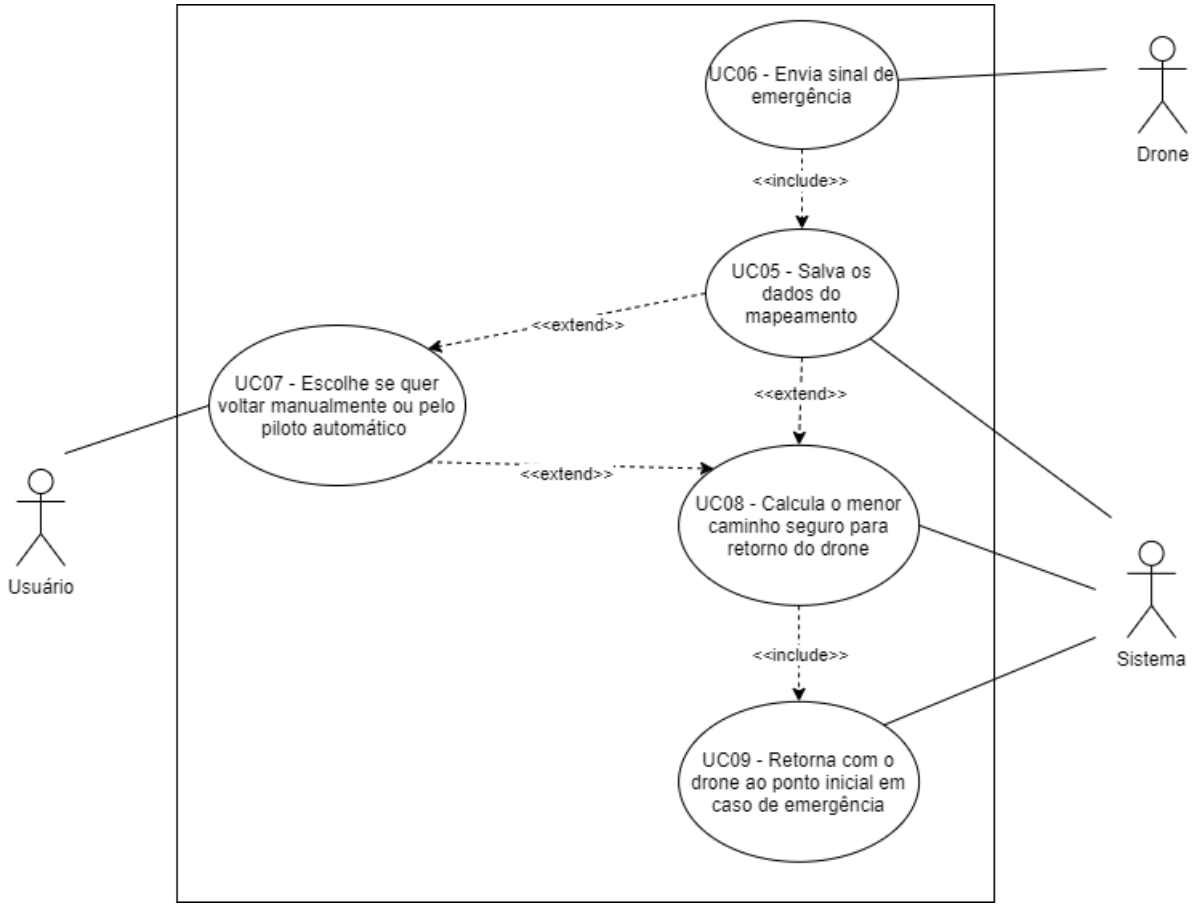


Fonte: Autoria própria

O caso de uso representado na figura 27 mostra como funcionará o mapeamento. O usuário, primeiramente, irá controlar o drone até o local em que deseja ser mapeado a área, depois o Damte irá realizar a coleta de dados e retornará pro sistema, terá seus dados de movimentação salvos e também retornados ao sistema, formará um mapa com os dados e salvando assim os dados de mapeamento no sistema.

Os casos de emergência podem ser: baixa carga na bateria, perda de comunicação com a central de controle e acionamento do botão de retorno. Na figura 28 o usuário escolhe, em caso de emergência por baixa bateria, se quer voltar de maneira manual ou se quer usar o algoritmo que usa Blockchain para retornar para a base usando o menor caminho calculado.

Figura 28 – Diagrama de casos de uso da situação de emergência

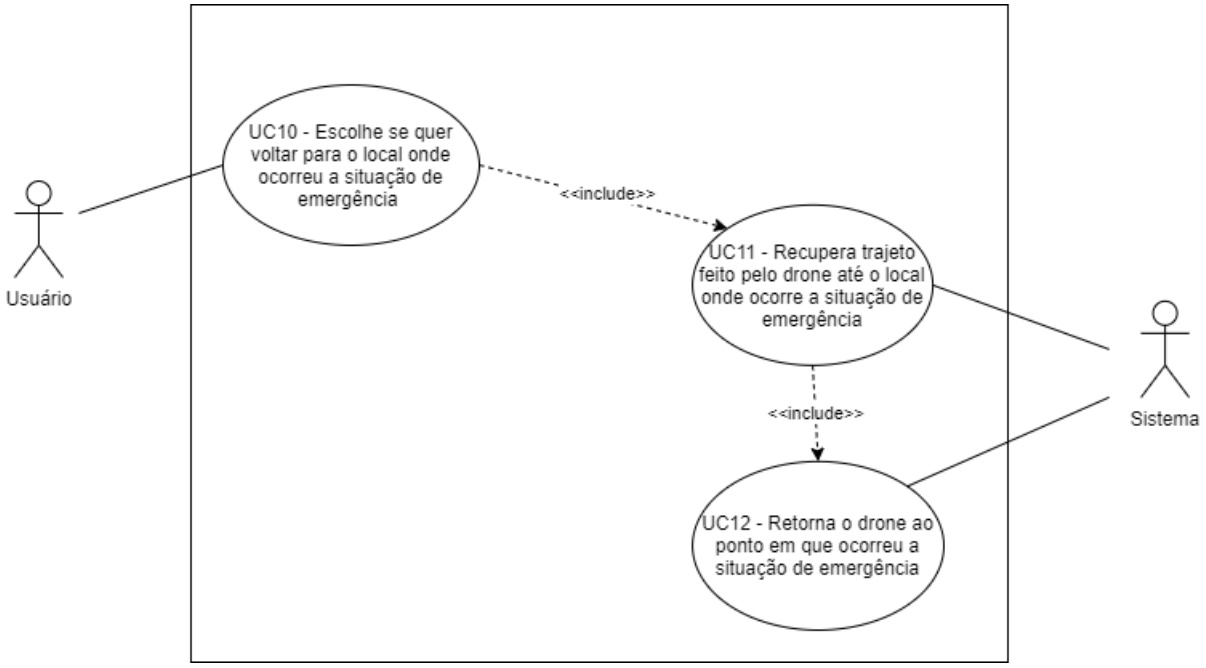


Fonte: Autoria própria

O caso de uso representado na figura 28 é referente ao funcionamento da situação de emergência. A primeira situação é quando o drone envia o sinal de emergência para o controlador, salva os dados do mapeamento até o momento e retorna ao usuário a opção de voltar manualmente para o local de partida ou de maneira autônoma, isso no caso de baixa carga de bateria, mas em caso de perda de sinal ou acionamento do botão de retorno, o drone só irá retornar de maneira autônoma. Depois dessas opções, o drone irá calcular o menor caminho seguro até a local de início do voo e retorna com o drone em segurança.

Na figura 29 o usuário tem a opção de retornar para o ponto onde ocorreu uma situação de emergência. Neste caso o sistema recupera os dados de movimentação do drone e o guia até o local onde estava no momento da emergência.

Figura 29 – Diagrama de casos de uso do retorno autônomo



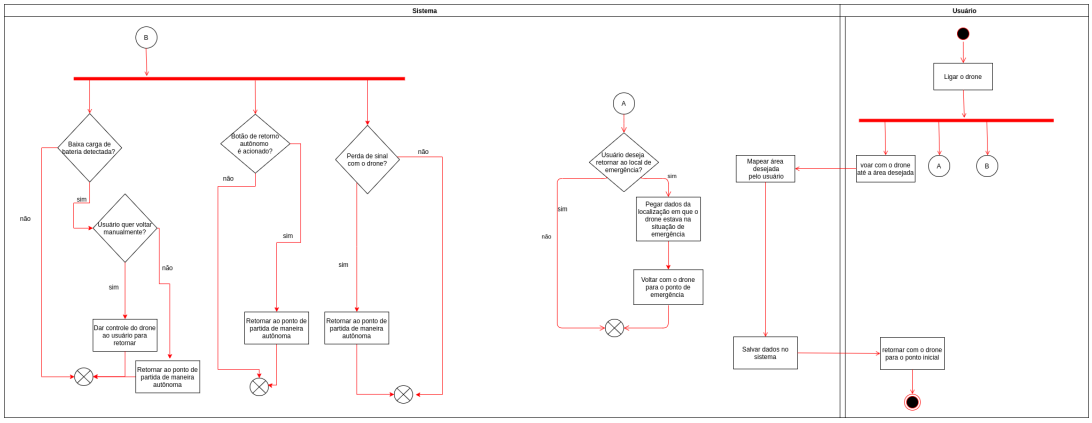
Fonte: Autoria própria

O caso de uso representado na figura 29 mostra o retorno autônomo ao local onde ocorreu a emergência, o usuário escolhe que quer voltar a este local, o sistema recupera o trajeto feito pelo drone feito do local de emergência até o local atual e logo após faz o retorno repetindo o percurso percorrido.

6.1.6 Visão Lógica

O diagrama (Figura 30) descreve a atividade que o usuário e o drone vão realizar durante a atividade de mapeamento de uma área.

Figura 30 – Diagrama de Atividades



Fonte: Autoria própria

O diagrama de atividades representado pela figura 30 é representado a partir do momento em que ligam o drone há três rotas lógicas em que ele irá percorrer. A primeira

é o percurso de mapeamento, em que o usuário liga o drone, controla-o até o local que quer ser mapeado, faz o mapeamento da área desejada e depois retorna ao ponto desejado e desliga. O segundo percurso lógico é para as três ocasiões em que o drone pode retornar de maneira autônoma, a primeira em que uma baixa carga de bateria é identificada e dá a opção para o usuário do drone voltar manualmente ou de maneira autônoma, a segunda em que há um botão em que o usuário pode apertar para o drone voltar diretamente de maneira autônoma e a ultima opção é quando o Damte perde o sinal com o controlador e irá, automaticamente, retornar de maneira autônoma. O ultimo percurso lógico que o drone irá, caso seja vontade do usuário, retornar ao local onde ocorreu a emergência.

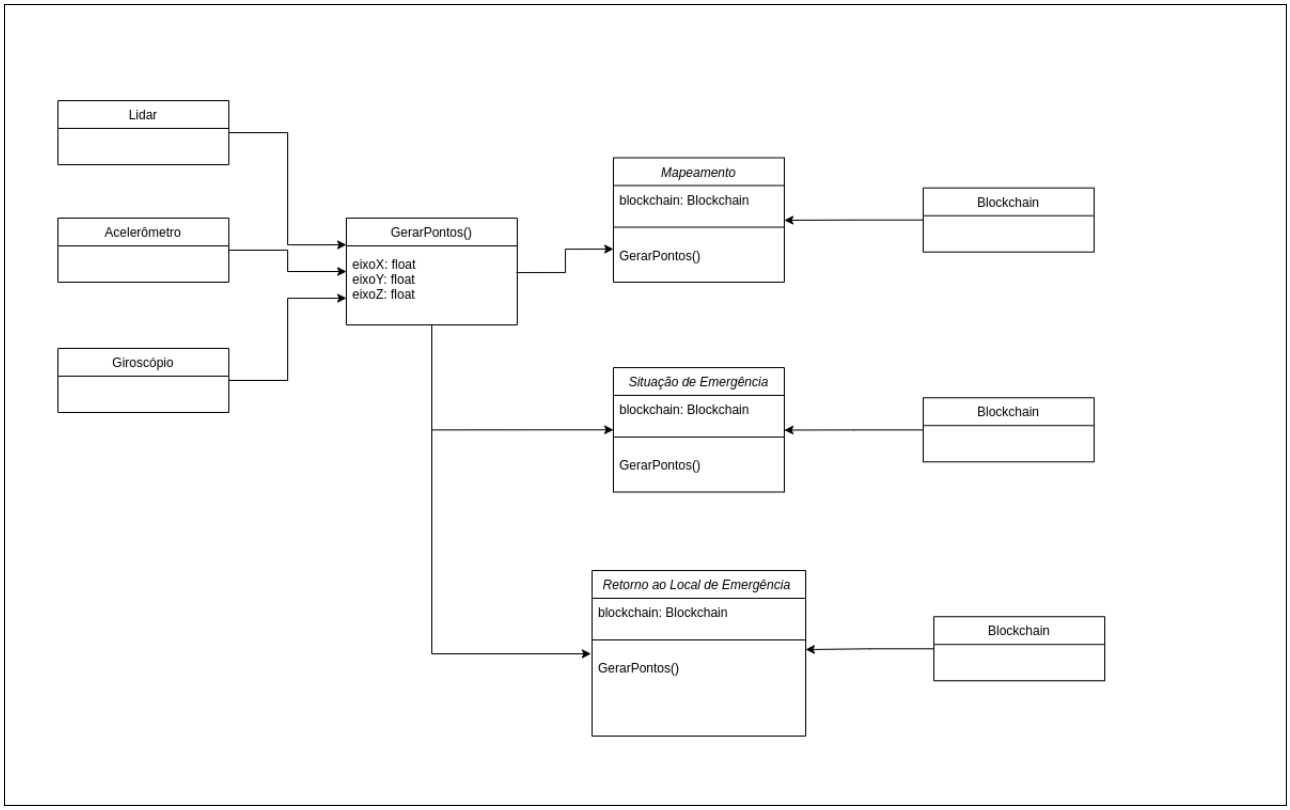
6.1.7 Visão da Implementação

Será utilizada a linguagem de programação Python para a implementação dos códigos responsáveis pelo mapeamento, registro dos mapas, da movimentação no Blockchain, captação de dados dos sensores e processamento de pontos.

6.1.7.1 Diagrama de classes

Abaixo está representada a interação entre as classes que compõem a implementação sugerida para o mapeamento de terreno.

Figura 31 – Diagrama de classes



Fonte: Autoria própria

O diagrama de classes representado pela figura 31 em que a função de gerar pontos em pointcloud (Função GerarPontos()) pega informação do giroscópio, do sensor LiDAR e do acelerômetro assim, devolvendo assim as informações dos pontos. Essa função entrega os dados para o mapeamento, para as situações de emergência em que a sua localização é importante para saber como fazer o retorno seguro pelo menor caminho e quando o drone precisará retornar para o ponto onde ocorreu a emergência, todos os três salvando seus dados no Blockchain.

6.1.7.2 Algoritmos

Neste subtópico, serão descritos os algoritmos que aplicarão as soluções de software no projeto.

6.1.7.2.1 Modelo baseado em blockchain

O algorítimo armazena a posição do drone em uma lista para gravar a rota que ele seguiu em um arquivo CSV,que pode ser utilizado como caixa preta caso o disco rígido da Raspberry esteja funcionando ou para recuperar a lista caso a Raspberry seja desligada e depois religada, cada nó da lista tem a posição X,Y,Z do drone,a hora e data que foi registrada a posição, o hash sha256 do nó anterior e o hash sha256 do nó atual que são compostos pelo tempo e pelo hash do nó anterior antes de ser compilado pela criptografia sha256. O algoritmo de criptografia sha256 é um algoritmo da familia sha2 que consegue transformar uma sequencia de caracteres em algo diferente, porém, impossibilita o caminho contrário. (KHOVRATOVICH; RECHBERGER; SAVELIEVA, 2012)

6.1.7.2.2 Processamento de pontos para imagens

Point Clouds são essencialmente a forma mais simples de modelos 3D. Eles são coleções de pontos individuais plotados no espaço 3D. Cada ponto contém várias medidas, incluindo suas coordenadas ao longo dos eixos X, Y e Z. (DOGGETT, 20–?).

Um grande problema com os Point Clouds 3D é que a densidade dos dados pode ser mais do que o necessário para um determinado aplicativo. Isso geralmente leva a um custo computacional mais alto no processamento ou visualização de dados subsequentes. Para tornar as nuvens de pontos densas mais gerenciáveis, sua densidade de dados pode ser reduzida.(POUX, 2020)

A estratégia utilizada para reduzir a densidade de dados foi a Point Cloud Grid Sampling que consiste na divisão do espaço 3D em células cúbicas regulares chamadas voxels, para cada célula desta grade, é mantido apenas um ponto representativo.(POUX, 2020)

6.1.7.2.3 Mapeamento

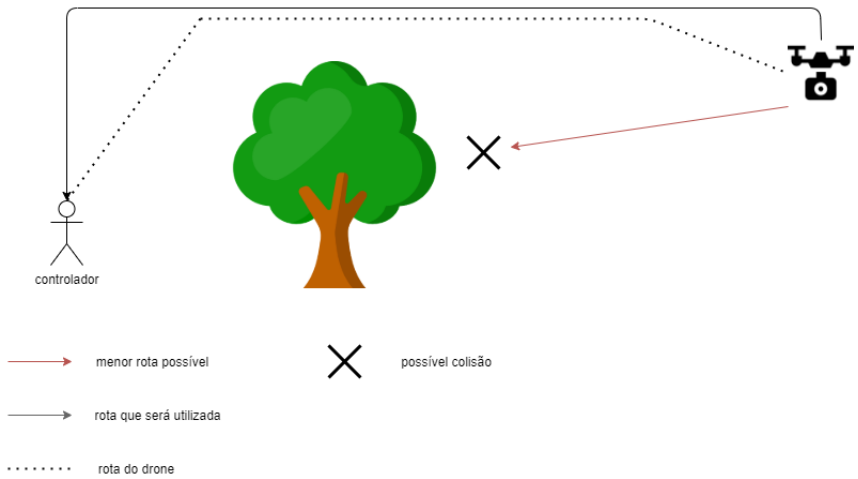
A partir do momento em que o botão na central de controle ligado ao mapeamento é acionado, a função de mapeamento é disparada e inicia a captação dos dados, por meio de uma função que retorna os dados dos pontos nos eixos X, Y e Z. Quando os dados são recebidos, é criado um "bloco"que guarda essas informações da posição do drone, junto com uma hash criada para linkar com o próximo bloco, a hash do ultimo bloco, caso exista, e o momento em que o dado foi recebido. Após o bloco ser gerado, ele é armazenado no nosso modelo baseado em blockchain e faz uma verificação se o botão que ativa o mapeamento ainda está ativado para continuar fazendo o mapeamento. Quando o botão é pressionado novamente, é retornado o objeto blockchain em um arquivo em formato de planilha que, em caso de o botão ser pressionado novamente no mesmo voo, será usado para continuar o mapeamento de onde ele parou.

6.1.7.2.4 Situação de emergência

A partir do momento em que o drone é ligado, a função de situação de emergência é disparada e inicia a captação dos dados, por meio de uma função que retorna os dados dos pontos nos eixos X, Y e Z. Quando os dados são recebidos, é criado um "bloco"que guarda essas informações da posição do drone, junto com uma hash criada para linkar com o próximo bloco, a hash do ultimo bloco, caso exista, o momento em que o dado foi recebido e um informação que vai informar se ocorreu uma situação de emergência que inicialmente vai ser sempre falsa. Após o bloco ser gerado, ele é armazenado no nosso modelo baseado em blockchain e faz uma verificação se algum sinal que represente emergência foi gerado e, caso verdadeira, é feito uma verificação de qual emergência se trata. Caso a situação seja baixa carga da bateria, é feito uma pergunta ao usuário se ele gostaria de voltar manualmente ou de forma autônoma. Já nos casos de o botão "retornar"seja pressionado ou de perda de sinal com a central de controle, o retorno será feito de forma autônoma.

A função de retorno autônomo é descrito abaixo:

Figura 32 – Representação de retorno com obstáculo



Fonte: Autoria própria

Para um melhor entendimento da função de retorno, a figura 32 ilustra um possível caso que pode ocorrer ao apenas calcular o menor caminho possível para o ponto de partida. Para que esse tipo de caso não ocorra, o drone irá subir até o maior ponto que alcançou durante o voo, e, a partir de lá, voltará sem perder altitude ate o local de partida para enfim descer. O usuário também poderá optar por fazer o recuo manualmente ao invés de utilizar a função implementada.

6.1.7.2.5 Retorno ao local onde ocorreu a emergência

A partir do momento em que o drone é ligado, a função de retorno ao local onde ocorreu a emergência é disparada e inicia uma verificação se aconteceu uma emergência no ultimo mapeamento realizado, e, caso verdadeira, pergunta ao usuário se ele gostaria de retornar de forma autônoma ao local onde ocorreu a emergência para continuar o mapeamento. Caso o usuário escolha o retorno autônomo, ocorrerá o mesmo descrito a partir da figura 32.

6.2 Arquitetura da Informação

A parte de software do nosso projeto irá captar informações de distância entre o drone e o ponto abaixo dele utilizando uma biblioteca que faz a integração da Raspberry com um LiDAR SF30/B e pode ser encontrada aqui. As informações relacionadas à posição atual do drone serão coletadas através do acelerômetro que estará conectado à Raspberry. A partir desse conjunto de informações, será possivel realizar o mapeamento e o cálculo do menor caminho para retorno do drone.

O sinal que ativará o sistema de emergência virá por um pino pré definido na Raspberry.

6.3 Inovação

A inovação proposta no projeto é a utilização do LiDAR em conjunto com o Blockchain para mapeamento e registro dos dados respectivamente.

O LiDAR será responsável pela emissão e recepção dos lasers emitidos pelo drone. Quando esses lasers atingem um obstáculo, eles criam um conjunto de nuvens de pontos. O sensor funciona com Tempo de Voo (TOF). Essencialmente, ele mede o tempo que leva para cada feixe de laser refletir e retornar (COHEN, 2020).

Quando em alta qualidade (e preço), LiDARs podem criar ricas cenas 3D de um ambiente. Eles podem emitir até 2 milhões de pontos por segundo (COHEN, 2020).

Blockchain é um tipo de banco de dados que utiliza blocos que são ligados juntos utilizando uma hash, que é uma forma de criptografia. Quando um novo bloco é formado, o mesmo é ligado ao bloco anterior que faz com que os dados fiquem salvos em ordem cronológica e é gerada uma nova hash para acessar esses dados. (CONWAY, 2020)

O nosso projeto utilizará um modelo baseado em Blockchain para guardar os dados relacionados à movimentação do drone e mapeamento da área. Devido à característica do Blockchain que faz com que seus dados sejam guardados de uma forma sequencial, será possível retornar com o drone para o local onde ocorreu uma situação de emergência, podendo assim continuar o mapeamento.

Como um possível próximo passo de evolução deste projeto é criar uma rede de comunicação entre drones, os principais atributos do blockchain que justificam sua escolha são a descentralização do banco de dados e a segurança dos dados. A necessidade de transitar as informações de mapeamento de área entre os drones torna a tarefa de gerenciar os dados gerados complexa demais para estruturas de dados simples, como listas encadeadas.

7 Integração

A figura 33 representa os subsistemas do projeto Damte integrados de forma que o desenvolvimento da áreas de eletrônica, energia, estrutura e software podem ser visualizados.

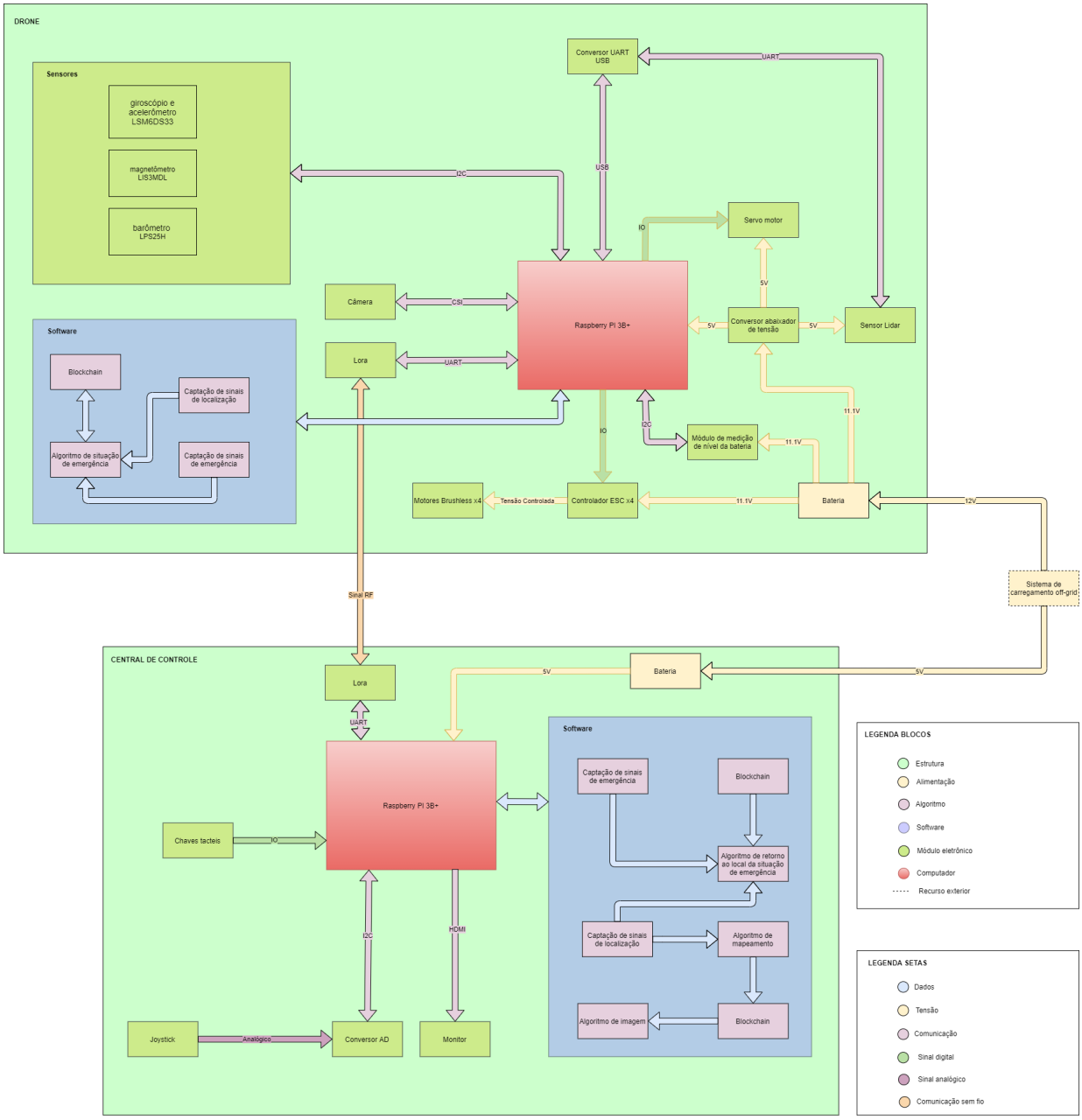
A estrutura do drone e da sua central de controle mantém os componentes eletrônicos e suas respectivas baterias internamente, enquanto externamente ficam as hélices mantidas pelos motores. Todos esses componentes são mantidos de forma segura para que suas funcionalidades sejam mantidas e inferências de comunicação sejam evitadas. A área de estrutura também desenvolveu suportes rotativos para o sensor lidar e o suportes para manter a câmera de forma fixa. A bateria do drone é conectada um conversor de tensão para fornecer tensão de 5V para alimentação de outros componentes. Ambas as baterias presentes no projeto podem ser carregadas por meio do sistema de carregamento off-grid.

A integração entre Software e Eletrônica ocorrerá na relação entre o firmware e os softwares desenvolvidos. O firmware fornecerá as funções básicas para a interação com os componentes, coletando os dados dos sensores, controlando os motores e realizando a comunicação entre drone e central. Quanto à integração da Eletrônica e Estrutura, as dimensões dos componentes e seu posicionamento dentro do espaço fornecido para o encapsulamento dos subsistemas foi configurado em conjunto.

A integração entre Eletrônica e Energia se originou, primeiramente, com a escolha dos componentes e a reunião dos dados sobre consumo destes, fornecendo a eles os valores do consumo total máximo dos subsistemas. Posteriormente, a disposição e conexões dos componentes também foi uma entrega importante para o desenvolvimento das atividades da Energia.

Funções serão responsáveis por captar os resultados dos sinais dos sensores do drone e passar esses sinais aos algoritmos que farão o controle de mapeamento e da situação de emergência. No caso dos algoritmos que terão responsabilidade de controlar o drone, seja para retorno ao local de partida no caso de uma emergência, ou voltar ao local onde a emergência ocorreu para dar continuidade ao mapeamento, será feito enviando sinais por digitais modulados por PWM de modo que tenha controle da velocidade de cada um dos 4 motores.

Figura 33 – Diagrama de integração dos subsistemas



Fonte: Autoria própria

Referências

3DLAB. *Propriedades dos materiais para impressora 3D*. entre 2013 e 2019. Acessado em: 27/02/2021. Disponível em: <https://3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/>. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 55.

3DLAB. *PETG! Será que ele realmente é melhor do que PLA e ABS? 3Dlab*. entre 2013 e 2021. Acessado em: 27/02/2021. Disponível em: <https://3dlab.com.br/petg-conheca-esse-material/>. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 54.

ABNT, A. B. D. N. D. N. T. *Plastics — Determination of temperature of deflection under load*. 1993. Acessado em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=29935>. Citado na página 82.

ABNT, A. B. D. N. D. N. T. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. 2014. Acessado em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=293527>. Citado na página 82.

ABNT, A. B. D. N. D. N. T. *Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness*. 2015. Acessado em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=356686>. Citado na página 82.

ANAC, A. N. D. A. C. *RBAC 01: Regulamentos brasileiros de aviação civil. Definições, regras de redação e unidades de medida. [S.l.]*. 2008. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr1042.htm>. Citado na página 50.

ANAC, A. N. d. A. C. *Orientações para usuários de drone*. 2017. 11-13 p. Acessado em: 10/04/2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 81 e 82.

ANAC, A. N. de A. C. *E94-002A*. 2017. Acessado em: 01/04/2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-94-002>. Citado 2 vezes nas páginas 80 e 83.

ANAC, A. N. de A. C. *IS E94-001B*. 2019. Acessado em: 01/04/2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-e94-001>. Citado na página 83.

ARROW. *The ABCs of HDMI Cables*. 2018. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/the-abcs-of-hdmi-cables>. Citado na página 34.

BRASIL, R. *Para leigos: entenda o Método dos Elementos Finitos*. 2020. Acessado em: 30/03/2021. Disponível em: <https://kotengenharia.com.br/para-leigos-entenda-o-metodo-dos-elementos-finitos/>. Citado na página 57.

CARRION, R. *Introdução aos elementos de máquinas*. 2019. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4548555/mod_resource/content/1/Aula%201%20-%20Criterios%20de%20Falha%20-%20Estatica.pdf>. Citado na página 58.

COHEN, J. *How LiDAR Detection Works*. 2020. Acessado em: 16/03/2021. Disponível em: <https://heartbeat.fritz.ai/how-lidar-detection-works-8db24556a8d9>. Citado 3 vezes nas páginas 29, 85 e 93.

CONWAY, L. *Blockchain Explained*. 2020. Acessado em: 30/03/2021. Disponível em: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>. Citado 2 vezes nas páginas 85 e 93.

DAIER. *KFC-A06-H Tact switch*. 2017. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://www.chinadaier.com/kfc-06-h-tact-switch/>. Citado na página 26.

DASSAULTSYSTEMES. *CATIA*. 2020. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://www.3ds.com/products-services/catia>. Citado na página 22.

DASSAULTSYSTEMES. *SOLIDWORKS Projeto/Engenharia*. 2020. Acessado em: 04/04/2021. Disponível em: <https://www.solidworks.com/pt-br/domain/design-engineering>. Citado na página 22.

DEMOLINARI, H. C. Projeto de construÇÃo um drone hexacÓptero. 2016. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/1792/1/PROJETO%20DE%20CONSTRU%C3%87%C3%83O%20UM%20DRONE%20HEXACOPTERO%20%28SEM%20Assinaturas%29.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 69 e 70.

DIN, D. I. für N. *Revolution speed transmitters for mechanical engineering*. 1974. Acessado em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.beuth.de/en/standard/din-5376/508705>. Citado na página 83.

DJI. *Mavic 2, Amplie seu mundo*. entre 2020 e 2021. Acessado em: 30/03/2021. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic-2/info>. Citado na página 60.

DOGGETT, S. *What Are Point Clouds, And How Are They Used?* 20–? Acessado em: 25/04/2021. Disponível em: <https://www.dronegenuity.com/point-clouds/>. Citado na página 90.

ECALC. *Simulações de acionamento elétrico confiáveis*. 2020. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://www.ecalc.ch>. Citado na página 22.

ENSINGERPLASTICS. *PEEK - Polieteretercetona. Ensinger Plastics*. 20–? Acessado em: 27/02/2021. Disponível em: <https://www.ensingerplastics.com/pt-br/semiacabados/plasticos-de-alto-desempenho/peek>. Citado 2 vezes nas páginas 54 e 55.

ESSS. *ANSYS*. 2020. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://www.esss.co/ansys/>. Citado na página 22.

EYOYO. *Eyoyo S801H 8 Inch HDMI Monitor*. 2019. Acessado em: 20/03/2021. Disponível em: <https://www.eyoyousa.com/eyoyo-s801h-8-inch-hdmi-monitor-1024x768-resolution-display-portable-43-tft-lcd-mini-hd-color-vid
html>. Citado na página 25.

FERREIRA, T. B. *TECNOLOGIA, GUERRA E CAPACIDADES MILITARES: SISTEMAS ROBÓTICOS E DESENHO DE FORÇA NO SÉCULO XXI*. 2017. Acessado em: 15/03/2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/172458>. Citado na página 14.

GIL, F. de S. L. Análise da qualidade de malha de elementos finitos e validação de situação de caso real de viga biapoiada. 2015. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16316/1/PG_DAMEC_2015_1_05.pdf>. Citado na página 59.

GITHUB. *Hello World*. 2020. Acessado em: 17/03/2021. Disponível em: <https://guides.github.com/activities/hello-world/>. Citado na página 22.

GTA, G. T. . A. *Asa fixa ou multirotor: principais diferenças*. 2019. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://www.gtalevantamentos.com.br/asa-fixa-ou-multirotor-principais-diferencas/>. Citado 3 vezes nas páginas 50, 51 e 52.

HORUS. *Solução completa em monitoramento com drones*. entre 2014 e 2021. Acessado em: 18/03/2021. Disponível em: <https://drones.horusaeronaves.com/mapeamento-com-drones?utm_source=Google%20Ads&utm_medium=cpc&utm_campaign=Drones%20B&utm_content=Campanha%20de%20pesquisa&gclid=CjwKCAjw9MuCBhBUEiwAbDZ-7khJv6cqzBcJfGCXI6tj1WMkB1fphHnBr1qLXf84qEN05REiZ-B
BwE#rd-text-jw0yc77e>. Citado na página 51.

HYPERION. *A Guide to Understanding LiPo Batteries*. [S.l.], 2016. Disponível em: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/hyperion-g5-50c-3s-1100mah-lipo-battery-User-Guide.pdf>. Citado na página 118.

INSTITUTE, C. E. *What is a lithium-ion battery and how does it work?* 2021. Acessado em: 31/03/2021. Disponível em: <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>. Citado na página 47.

INSTRUMENTS, T. *Principles of Data Acquisition and Conversion*. 2015. Acessado em: 20/03/2021. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/sbaa051a/sbaa051a.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 40.

INSTRUMENTS, T. *ADS101x Ultra-Small, Low-Power, I 2C-Compatible, 3.3-kSPS, 12-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator*. 2018. Acessado em: 20/03/2021. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1015.pdf?ts=1617420141821&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FADS1015>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 56.

INSTRUMENTS, T. *LM317 3-Terminal Adjustable Regulator*. 2020. Acessado em: 22/03/2021. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf?ts=1619142742108&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F#:~:text=The%20LM317%20device%20is%20an,typical%20load%20regulation%20of%200.1%25>. Citado na página 117.

ISO, I. O. for S. *Plastics — Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics*. 2012. Acessado em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/56046.html>. Citado na página 82.

ISO, I. O. for S. *Plastics — Determination of flexural properties*. 2019. Acessado em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:178:ed-6:v1:en>. Citado na página 83.

ISO, I. O. for S. *Plastics — Determination of temperature of deflection under load — Part 1: General test method*. 2020. Acessado em: 14/03/2021. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:75:-1:ed-4:v1:en>. Citado na página 83.

ITARC. *Brumadinho conta com ajuda de operadores de drones em buscas*. 2019. Acessado em: 01/04/2021. Disponível em: <https://itarc.org/operadores-de-drones-brumadinho/>. Citado na página 14.

JOY-IT. *Datasheet: KY-023 Joystick module (XY-Axis)*. 2017. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1402034/Joy-IT/KY-023/1>. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 40.

JUSTO, A. S. *EAP (Estrutura Analítica do Projeto): o que é, como fazer e qual a diferença entre EAP e Cronograma*. 2018. 16/03/2021. Disponível em: <https://www.euax.com.br/2018/12/eap-estrutura-analitica-projeto/#:~:text=A%20EAP%20(Estrutura%20Anal%C3%ADtica%20do,produzir%20as%20entregas%20do%20projeto.> Citado na página 22.

KHOVRATOVICH, D.; RECHBERGER, C.; SAVELIEVA, A. Bicliques for Preimages: Attacks on Skein-512 and the SHA-2 Family. In: CANTEAUT, A. (Ed.). *Fast Software Encryption*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. v. 7549, p. 244–263. ISBN 978-3-642-34046-8 978-3-642-34047-5. Series Title: Lecture Notes in Computer Science. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-34047-5_15>. Citado na página 90.

KOHLHASE, K. *Pulse Width Modulation (PWM): What Is It? How Can I Use It?* 2020. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://www.digikey.com/en/blog/pulse-width-modulation>. Citado na página 36.

KOLLMORGEN. *How Servo Motors Work*. 2020. Acessado em: 20/03/2021. Disponível em: <https://www.kollmorgen.com/en-us/blogs/_blog-in-motion/articles/how-servo-motors-work/#:~:text=A%20servo%20motor%20is%20an,device%20to%20close%20the%20loop.> Citado na página 29.

LIGHTWARE. *SF30 Accelerated laser rangefinder: Product manual*. 2019. Acessado em: 20/03/2021. Disponível em: <https://www.documents.lightware.co.za/SF30%20-%20Laser%20Altimeter%20Manual%20-%20Rev%209.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 29, 35 e 56.

LITHIUMIONBATTERY.ORG. *Can and Casing*. 2021. Acessado em: 31/03/2021. Disponível em: <http://lithiumionbattery.org/activities/can-casing#:~:text=Ni%2Dcoated%20steels%20are%20used,by%20nickel%20to%20the%20steel>. Citado na página 47.

LUCIDCHART. *Lucidchart*. 2021. Acessado em: 25/03/2021. Disponível em: <https://www.lucidchart.com/pages/pt/produto>. Citado na página 22.

MENDES, A. *Artigo Engenharia de Software 3 - Requisitos Não Funcionais*. 2008. Acessado em: 04/04/2021. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/artigo-engenharia-de-software-3-requisitos-nao-funcionais/9525>. Citado 2 vezes nas páginas 104 e 105.

MIPI, A. *MIPI Camera Serial Interface 2 (MIPI CSI-2)*. 2019. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://www.mipi.org/specifications/csi-2>. Citado na página 35.

NAPOLEãO, B. M. *Matriz de Riscos (Matriz de Probabilidade e Impacto)*. 2019. Acessado em: 16/03/2021. Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/matriz-de-riscos-matriz-de-probabilidade-e-impacto/>. Citado na página 18.

NETO, S. P. *Quais São as Diferenças Entre Aeronaves Remotamente Pilotadas de Asa Fixa e Multirotores?* 2017. Acessado em: 18/03/2021. Disponível em: <https://www.austertecnologia.com/single-post/2017/05/27/diferencas-asa-fixa-multirrotores>. Citado 3 vezes nas páginas 50, 51 e 52.

NXP SEMICONDUCTORS. *I2C-bus specification and user manual*. 6. ed. [S.l.], 2014. Citado na página 33.

OVERLEAF. *Overleaf*. 2020. Acessado em: 30/03/2021. Disponível em: <https://pt.overleaf.com/about>. Citado na página 21.

PALMER, A. *Amazon wins FAA approval for Prime Air drone delivery fleet*. 2020. Acessado em: 15/03/2021. Disponível em: <https://www.nbcnews.com/business/business-news/amazon-wins-faa-approval-prime-air-drone-delivery-fleet-n1238866>. Citado na página 14.

POLOLU. *AltIMU-10 v5 Gyro, Accelerometer, Compass, and Altimeter (LSM6DS33, LIS3MDL, and LPS25H Carrier)*. 2016. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/2739>. Citado 3 vezes nas páginas 30, 43 e 56.

POUX, F. *How to automate LiDAR point cloud sub-sampling with Python*. 2020. Acessado em: 25/04/2021. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/how-to-automate-lidar-point-cloud-processing-with-python-a027454a536c>. Citado na página 90.

PRINTIT3D. *Impressão 3D com filamento PEEK e PEI - Guia Completo*. 2013. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://www.printit3d.com.br/post/impress%C3%A3o-3d-com-filamento-peek-e-pei-guia-completo>. Citado na página 54.

PRUDKIN, F. M.; BREUNIG, G. *DRONES E CIÊNCIA Teoria e aplicações metodológicas Volume I*. 2019. Acessado em: 15/03/2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/18774>. Citado na página 14.

RASPBERRY.ORG. *Raspberry Pi 3 Model B+*. 2018. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 27, 33 e 56.

RASPBERRYPI.ORG. *What is a Raspberry Pi?* 20–? Acessado em: 04/04/2021. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/>. Citado na página 84.

RIBEIRO, L. *O que é UML e Diagramas de Caso de Uso: Introdução Prática à UML*. 2012. Acessado em: 04/04/2021. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/o-que-e-uml-e-diagramas-de-caso-de-uso-introducao-pratica-a-uml/23408>. Citado na página 85.

RODRIGUES, C. *O Que é uma Análise de Elementos Finitos FEA ou FEM*. entre 2018 e 2020. Acessado em: 01/03/2021. Disponível em: <http://virtualcae.com.br/o-que-e-uma-analise-de-elementos-finitos-fea-ou-fem/>. Citado na página 57.

SADIKU, C. A. M. *Fundamentals of Electric Circuits*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1994. Citado na página 118.

SANTANA, L. et al. Estudo comparativo entre petg e pla para impressão 3d através de caracterização térmica, química e mecânica. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000400457&lng=en&nrm=iso>. Citado na página 54.

SANTOS, T. R. et al. The effects of printing parameters on mechanical properties of a rapidly manufactures mechanical ventilator. entre 2020 e 2021. Citado na página 58.

SEMTECH. *SX1261/2, Long Range, Low Power, sub-GHz RF trasnceiver*. 2019. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R000000HT76/7Nka9W5WgugoZe.xwIHJy6ebj1hW8UJ.USO_Pt2CLLo>. Citado na página 28.

SENAR, S. N. de A. R. Agricultura de precisão: drones. 2018. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/249-DRONES.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 50, 51 e 52.

SILVA, L. P. da; CORDEIRO, C. S. Quadricóptero, aspectos gerais e análises da propulsão elétrica. 2011. Acessado em: 27/03/2021. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos11/39614431.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 69 e 70.

SOLAR, P. *Controlador de carga*. 2021. Acessado em: 11/03/2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/controlador-de-carga>. Citado na página 46.

SOUZA, A. A. C. de. *PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO PARA ALIMENTAÇÃO DE CARGAS EM PROPRIEDADES RURAIS*. 2013. Citado na página 122.

STMICROELECTRONICS. *Electronic speed controller for BLDC and PMSM three phase brushless motor*. 2018. Acessado em: 20/03/2021. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00384353-electronic-speed-controller-for-bldc-and-pmsm-three-phase-brushless-motor-stmicroele pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 31, 44 e 56.

TOWERPRO. *SG90: 9 g Micro Servo*. 2014. Acessado em: 20/03/2021. Disponível em: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/791970/TowerPro/SG90/1>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 56.

VANZWOL, J. *Design Essentials: For UAVs and Drones, Batteries are Included*. 2017. Acessado em: 31/03/2021. Disponível em: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21835356/design-essentials-for-uavs-and-drones-batteries-are-included>. Citado na página 47.

VIAN Ângelo et al. *ENERGIA SOLAR - Fundamentos, tecnologia e aplicações*. 2021. Acessado em: 25/03/2021. Citado na página 46.

VULEJ, R. *Drones em operações militares. Provide Consulting Representation*. entre 2018 e 2020. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br.spolm/files/O%20Uso%20de%20Drones%20%28VANT%29%20em%20Opera%C3%A7%C3%B5es%20Militares.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 51.

WAVESHARE. *RPi IR-CUT Camera (B)*. 2015. Acessado em: 20/03/2021. Disponível em: <https://www.waveshare.com/wiki/RPi_IR-CUT_Camera_(B)>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 56.

WAVESHARE. *Datasheet: SX1261/2 Data Sheet Rev. 1.1 DS.SX1261-2*. 2017. Acessado em: 28/03/2021. Disponível em: <https://www.waveshare.com/w/upload/6/62/DS_SX1261-2_V1.1.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 40.

WAVESHARE. *SX1262 915M LoRa HAT*. 2020. Acessado em: 13/03/2021. Disponível em: <https://www.waveshare.com/wiki/SX1262_915M_LoRa_HAT>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 56.

WWFBRASIL. *ECODRONES*. 2021. Acessado em: 24/03/2021. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/ecodrones/>. Citado na página 14.

Apêndices

APÊNDICE A – Software

A.0.1 Principais decisões de software

Esse tópico tem como objetivo apontar decisões feitas desde o início do projeto até o atual momento dele, respectivamente.

1. **O drone irá identificar pessoas:** A ideia do projeto, em conjunto com o time, era de criar um drone que, em situações de desastres naturais, conseguisse localizar indivíduos que foram soterrados e mostrasse seu local para autoridades que resgatariam ele;

2. **Usar machine learning com rede neural:** Com a ideia do projeto sendo identificar pessoas. Iríamos usar machine learning para distinguir padrões e aprender com eles para realizar a tarefa desejada;

3. **Não vamos usar blockchain:** O professor Chaim deu a ideia de usar blockchain em nosso projeto, porém discutimos a ideia com a equipe de software e vimos que a tecnologia não seria bem aproveitada em nosso projeto;

4. **Não vamos identificar pessoas e sim analisar terrenos:** Depois de algumas reuniões, a equipe de software concordou em mudar o escopo do projeto, para que ao invés de reconhecer pessoas em situação de risco, identificar e diferenciar padrões de terrenos com riscos de deslizamento a fim de prever o desastre;

5. **Vamos usar blockchain:** Com a mudança do escopo do projeto, a ideia que o professor Chaim deu anteriormente acaba sendo uma boa ideia em nosso projeto na situação de salvar os terrenos já mapeados usando o sensor LiDAR;

6. **Não vamos analisar terrenos e vamos apenas mapear:** Analisando a complexidade de arquivos do LiDAR, a equipe de software decidiu mudar, novamente, o escopo do projeto e apenas mapear terrenos desejados pelo usuário com o drone.

7. **Não vamos utilizar machine learning:** Como o drone não vai analisar terrenos e nem identificar pessoas, então não há necessidade de utilizar machine learning.

A.0.2 Requisitos de Software

Requisitos são funções, propriedades, entre outros objetivos que o projeto deve satisfazer para a definição e objetivo do mesmo. Eles são definidos em duas grades categorias: requisitos funcionais e não funcionais.(MENDES, 2008)

Os requisitos funcionais eles descrevem o que o projeto de software deve fazer, funções que são de suma importância.(MENDES, 2008)

Os requisitos não funcionais são aqueles que referem-se ao modo do produto se comportar, por exemplo, velocidade de execução.(MENDES, 2008)

Tabela 29 – Requisitos Funcionais

Id	**Requisito Funcional**
Rf001	Calcular rota mais curta para retorno do drone em caso de emergência
Rf002	Realizar o mapeamento da área
Rf003	Exibir mapeamento com cores relativas à área analisada
Rf004	Gerar mapa em larga escala da área atual analisada
Rf005	Trocar de tela entre o mapeamento em larga escala e a visão em tempo real a partir de um botão no controle
Rf006	Exibir mapa em larga escala dos locais já mapeados
Rf007	Retornar drone para local onde ocorreu a situação emergencial
Rf008	Retornar drone para local inicial em caso de emergência

Fonte: Autoria própria

Tabela 30 – Requisitos não Funcionais

Id	**Requisito Não Funcional**
Rnf001	O sistema deverá possuir um algoritmo para mapeamento de áreas
Rnf002	O Software deverá atuar em cima das informações fornecidas pelo sensor LiDAR
Rnf003	O mapa em larga escala deve ser legível para o usuário
Rnf004	O sistema deverá realizar os cálculos de identificação de terreno em tempo real
Rnf005	O sistema deverá ser utilizável em uma RaspberryPI

Fonte: Autoria própria

A.0.3 Backlog

Tabela 31 – Backlog de software

(contínua)

Id	**Épico**	**Requisito**	**Funcional / Não Funcional**	**User Story**	**Prioridade (MoSCoW)**
US01	Sistema	Calcular rota mais curta para retorno do drone em caso de emergência	Funcional	Eu, como Sistema desejo calcular uma rota de retorno ao ponto de partida no caso de emergências	Should
US02	Mapeamento	Realizar o mapeamento da área	Funcional	Eu, como Sistema desejo realizar a leitura dos dados da área para que possam ser analisados	Must
US03	Mapeamento	Exibir mapeamento com cores relativas à área analisada	Funcional	Eu, como Sistema desejo exibir mapeamento com cores relativas a fim de auxiliar o reconhecimento da área	Must
US04	Mapeamento	Gerar mapa em larga escala da área atual analisada	Funcional	Eu, como Sistema desejo gerar mapa em larga escala para que eu possa exibir ao usuário	Could
US05	Sistema	Trocar de tela entre o mapeamento em larga escala e a visão em tempo real a partir de um botão no controle	Funcional	Eu, como Usuário desejo trocar de tela para que eu possa alternar entre as duas perspectivas	Must
US06	Mapeamento	Exibir mapa em larga escala dos locais já mapeados	Funcional	Eu, como Usuário desejo visualizar o mapa em larga escala a fim de obter mais informações sobre a área total mapeada	Must

(conclusão)

Id	Épico	Requisito	Funcional / Não Funcional	User Story	Prioridade (MoSCoW)
US07	Mapeamento	O sistema deverá possuir um algoritmo para mapeamento de áreas	Não Funcional	Eu, como Sistema desejo ter um algoritmo a fim de mapear uma área de maneira autônoma	Should
US08	Mapeamento	O Software deverá atuar em cima das informações fornecidas pelo sensor LiDAR	Não Funcional	Eu, como Sistema desejo receber dados referentes ao sensor LiDAR a fim de serem analisados	Should
US09	Mapeamento	O mapa em larga escala deve ser legível para o usuário	Não Funcional	Eu, como Usuário desejo ter uma visão clara do mapa mostrado na tela	Should
US10	Sistema	O sistema deverá ser utilizável em uma RaspBerry PI	Não Funcional	Eu, como Sistema desejo ter compatibilidade com RaspBerry PI a fim de integrar hardware com software	Could
US11	Sistema	Retornar o drone para local onde ocorreu a situação emergencial	Funcional	Eu, como Sistema desejo retornar o drone para local onde ocorreu a situação emergencial para que seja retomada as atividades de mapeamento	Must
US12	Sistema	Retornar o drone para local inicial em caso de emergência	Funcional	Eu, como Sistema desejo retornar o drone para o local inicial em caso de emergência para que o equipamento não seja perdido	Must

Fonte: Autoria própria

A.0.4 Tabela de casos de uso

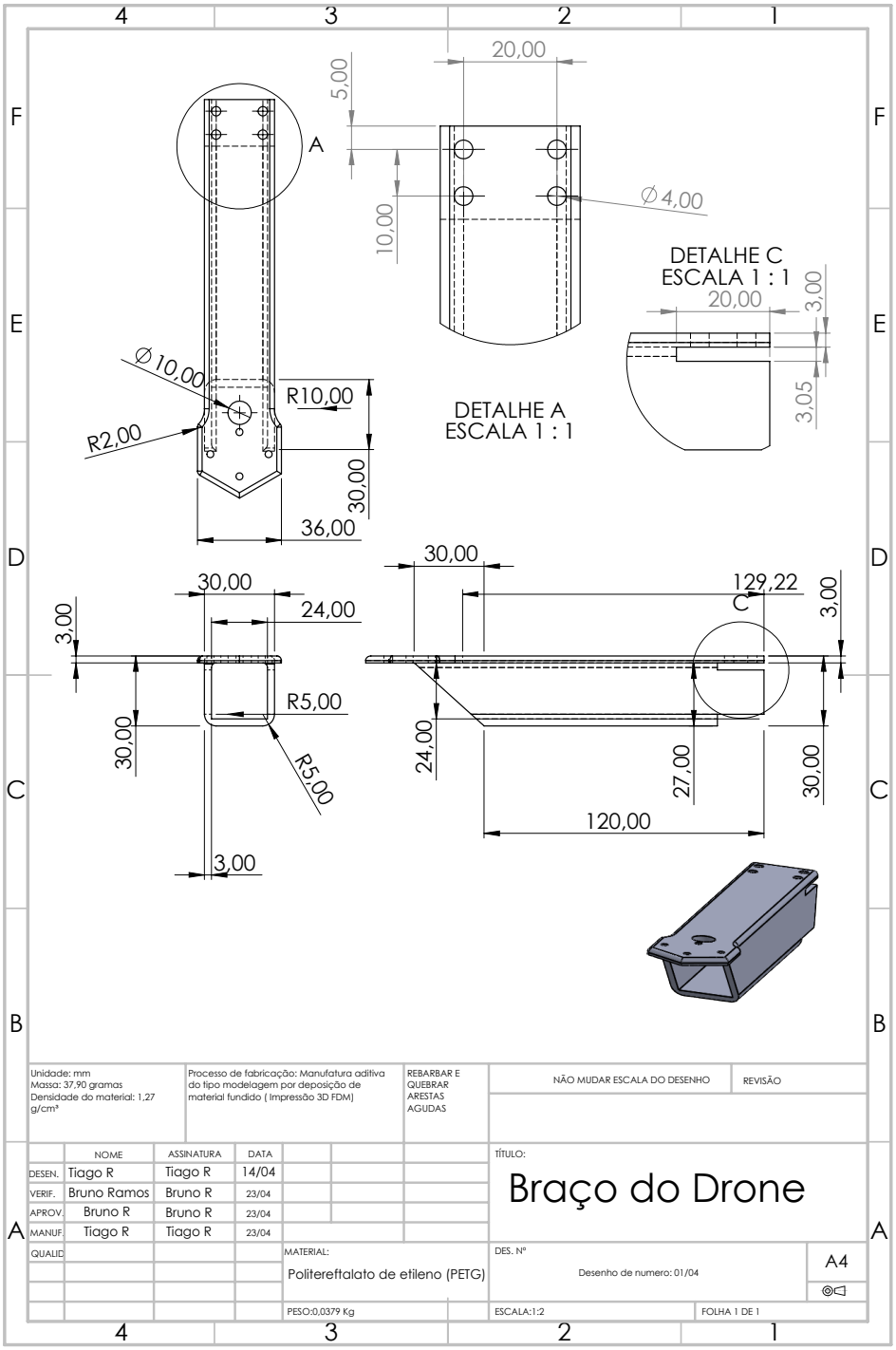
Tabela 32 – Casos de uso

Id	Casos de Uso	Descrição
UC01	Controla o drone até o local de mapeamento	O usuário aciona os comandos para levar o drone até o local que deseja mapear
UC02	Realiza a coleta de dados para mapeamento	O sistema coleta dados de movimentação do drone e de distância até os pontos abaixo dele
UC03	Salva os dados de movimentação do drone	O sistema salva utilizando blockchain os dados relacionados à movimentação do drone
UC04	Adiciona os dados formando um mapa	O sistema utilizando os dados coletados, forma um mapa
UC05	Salva os dados do mapeamento	O sistema salva utilizando blockchain os dados do mapa formado
UC06	Envia sinal de emergência	O drone envia um sinal apontando uma situação de emergência
UC07	Escolhe se quer voltar manualmente ou pelo piloto automático	O usuário decide entre voltar controlando o drone manualmente ou com o drone sendo controlado pelo sistema
UC08	Calcula o menor caminho seguro para retorno do drone	O sistema calcula utilizando os dados de movimentação coletados, o menor caminho seguro até o ponto de partida do drone
UC09	Retorna com o drone ao ponto inicial em caso de emergência	O sistema controla o drone para que o mesmo volte ao ponto de partida do drone
UC10	Escolhe se quer voltar para o local onde ocorreu a situação de emergência	O usuário decide se quer que o sistema guie o drone até o local onde ocorreu a situação de emergência
UC11	Recupera trajeto feito pelo drone até o local onde ocorre a situação de emergência	O sistema recupera no Blockchain o caminho feito com o drone até o local onde ocorreu a emergência
UC12	Retorna o drone ao ponto em que ocorreu a situação de emergência	O sistema utiliza os dados de movimentação para reproduzir o caminho feito pelo drone até o local onde ocorreu a situação de emergência

Fonte: Autoria própria

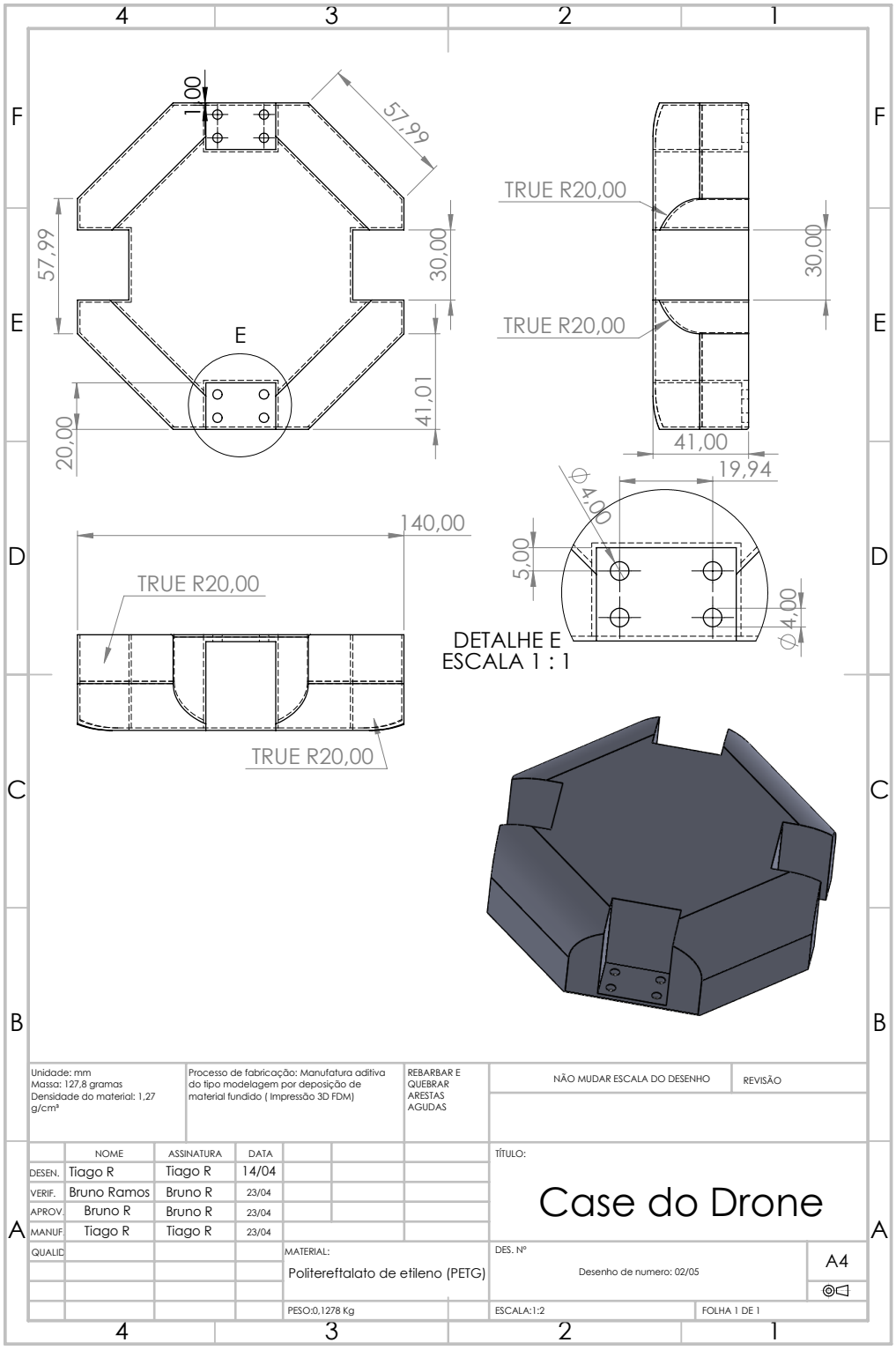
APÊNDICE B – Visões 2D do drone e da central de controle

Figura 34 – Braço do drone



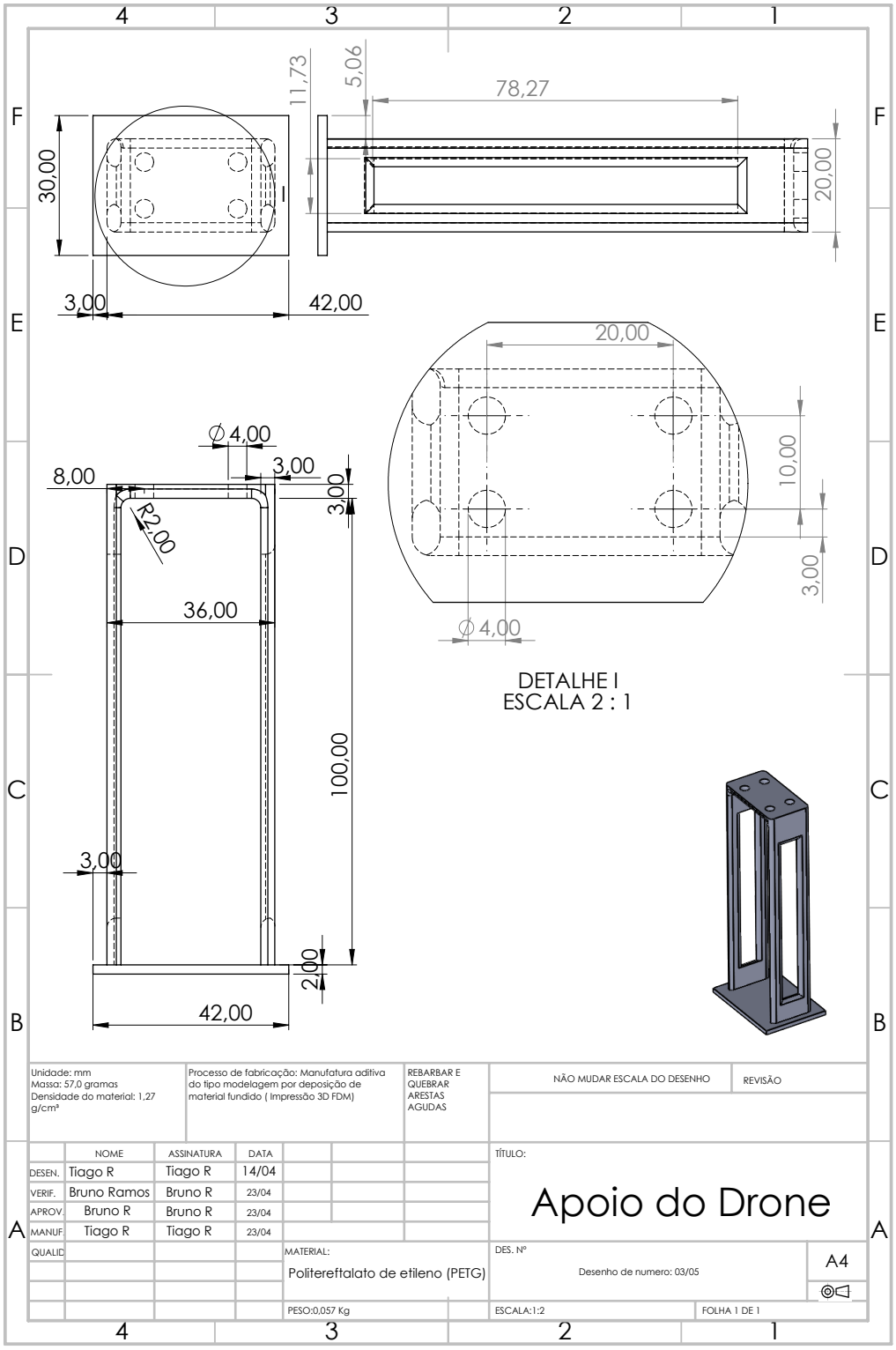
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software SOLIDWORKS

Figura 35 – Case do drone



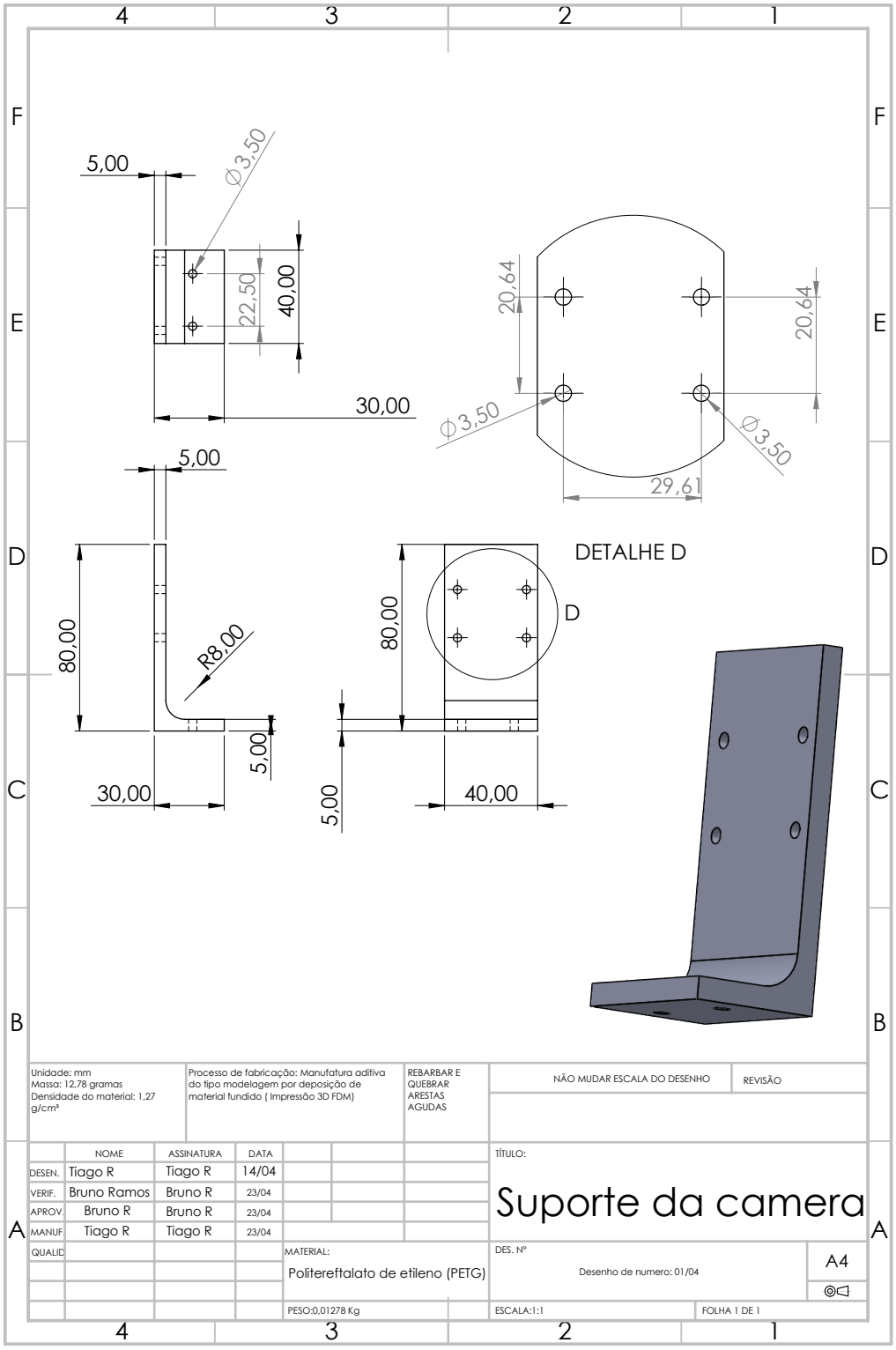
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software SOLIDWORKS

Figura 36 – Apoio do drone



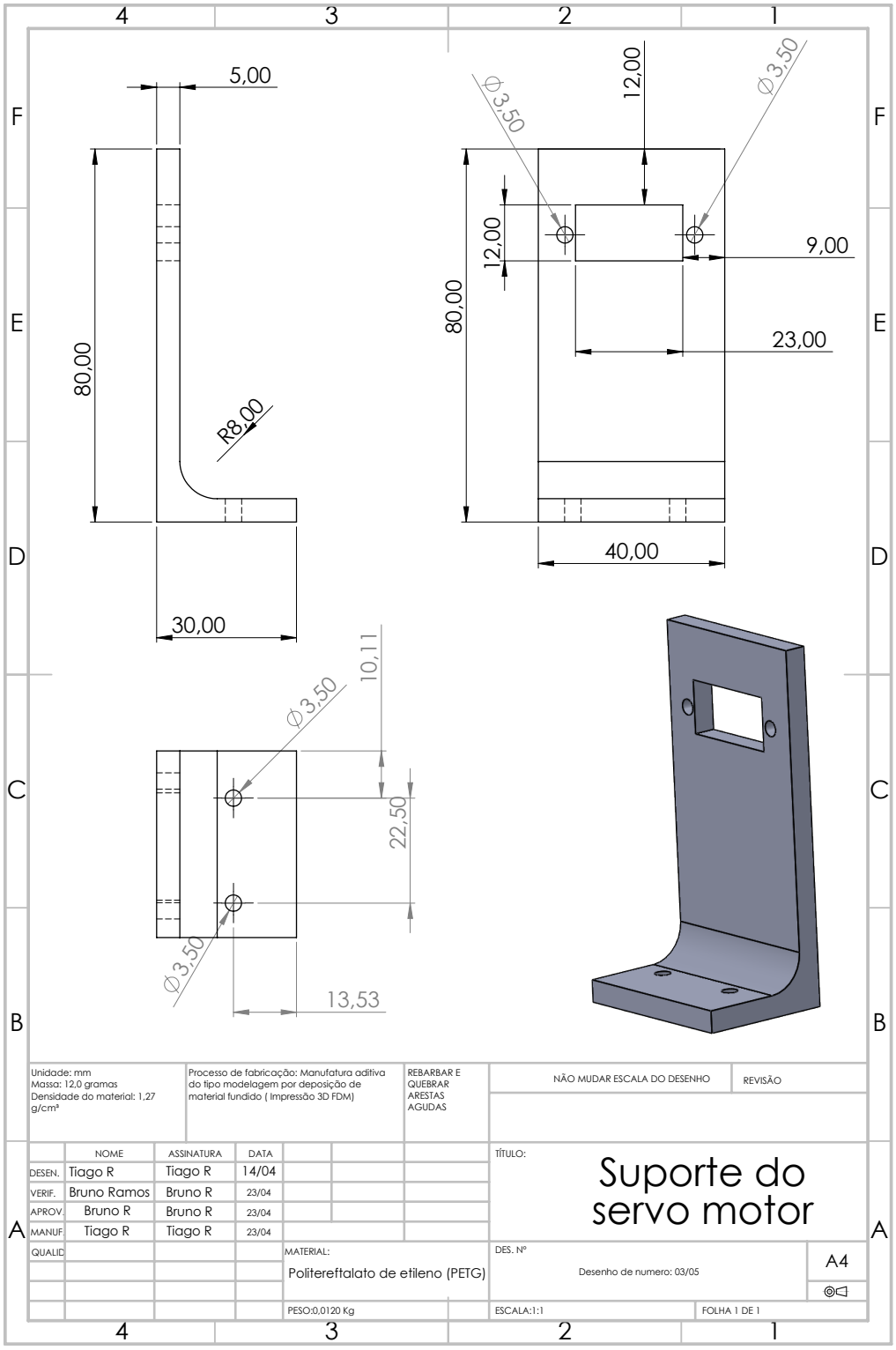
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software SOLIDWORKS

Figura 37 – Suporte da câmera



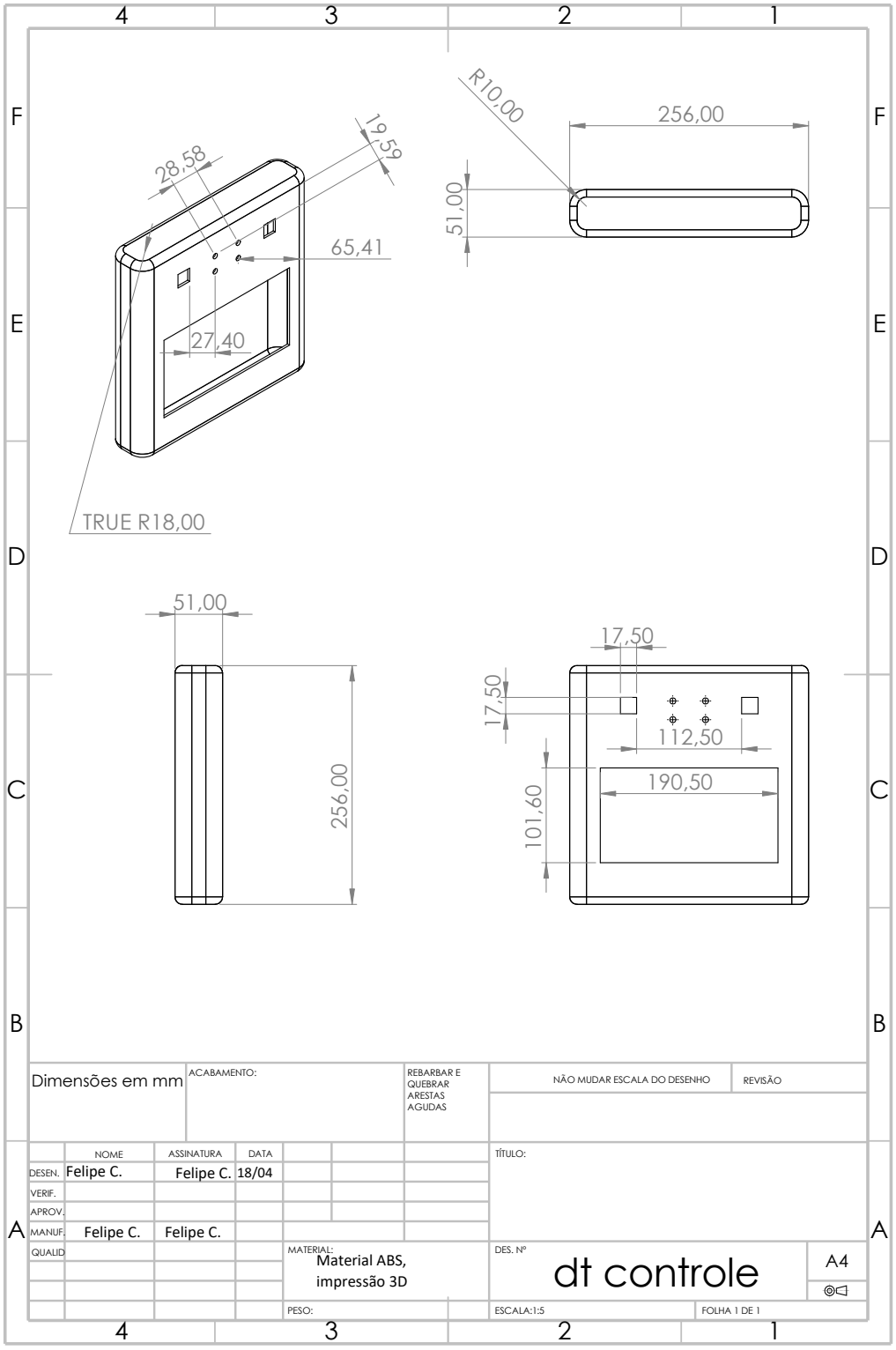
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software SOLIDWORKS

Figura 38 – Suporte do servo motor



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software SOLIDWORKS

Figura 39 – Central de Controle



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software SOLIDWORKS

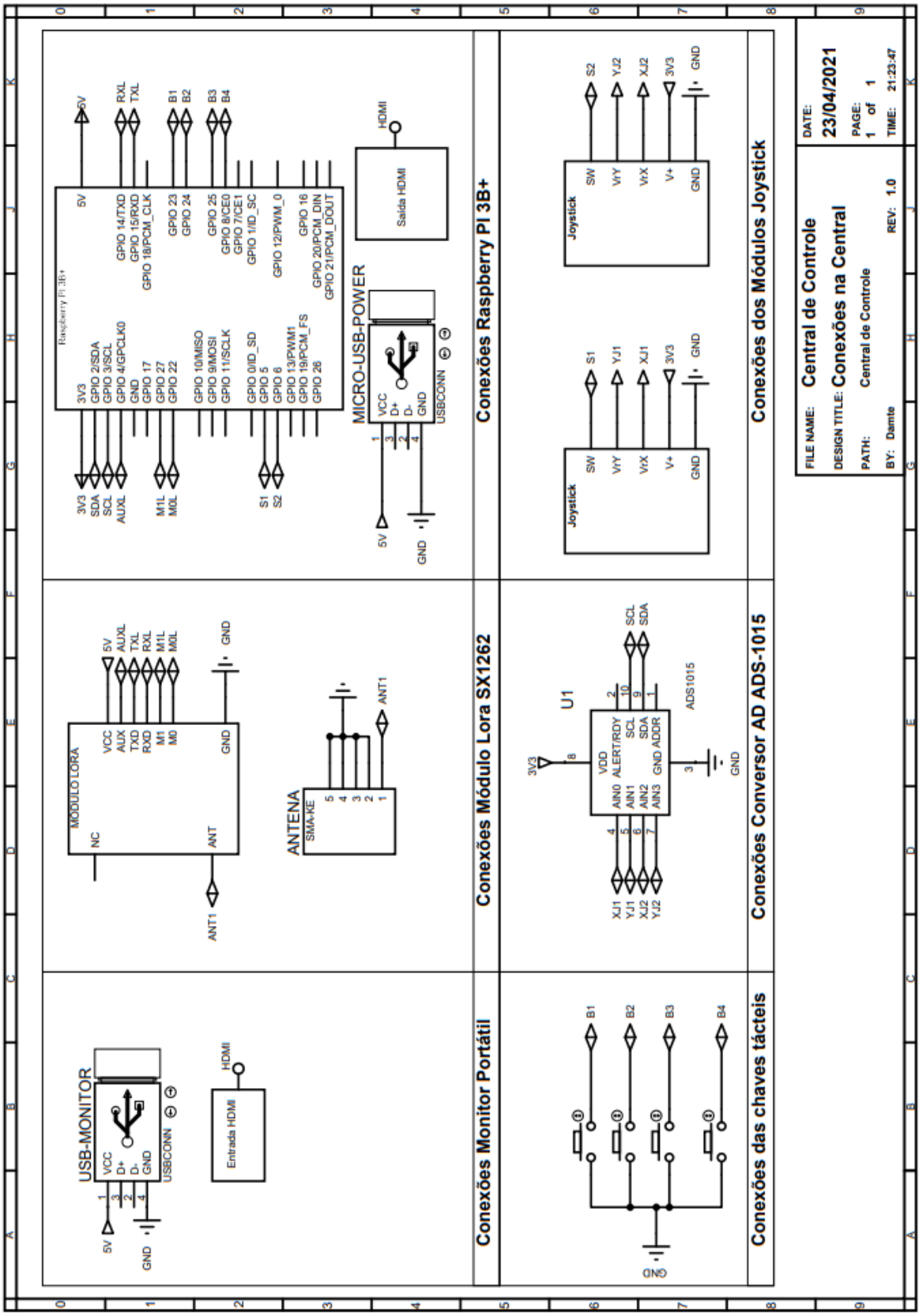
APÊNDICE C – Esquemáticos Eletrônicos

Foram desenvolvidos dois diagramas esquemáticos para o projeto, sendo um deles o esquemático da central de controle e o outro o esquemático do drone, estando.

O primeiro esquemático, apresentado na figura 40, apresenta os componentes eletrônicos presentes na central de controle, e as conexões detalhadas entre estes.

Levando em consideração o módulo de alimentação escolhido pela área de energia do projeto, as alimentações provenientes de bateria presentes na central de controle são apenas por via de cabo USB, e estas conexões são usadas tanto para alimentar a raspberry PI quanto o monitor portátil. Os demais componentes eletrônicos tem sua alimentação provida pelos pinos de alimentação da raspberry PI.

Figura 40 – Diagrama Esquemático da Central de Controle

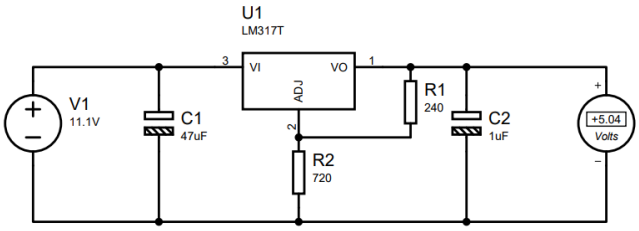


Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Proteus

Já no segundo esquemático, apresentado na figura 43, estão apresentados os componentes eletrônicos presentes no drone e as conexões detalhadas entre estes.

Levando em consideração que a alimentação do drone será por meio de uma bateria LiPO com tensão nominal de 11,1V, foi necessário desenvolver um conversor de corrente contínua para corrente contínua (cc-cc) abaixador de tensão para a realização da alimentação dos componentes eletrônicos em 5V. O circuito, assim como o resultado de sua simulação, está apresentado na Figura 41. Onde possui como principal componente o regulador de tensão ajustável LM317T, que se trata de um componente onde é possível ajustar uma tensão de entrada de modo a conseguir uma saída numa tensão ajustável de 1.25 V à 37 V, com o simples uso de dois resistores, e este componente (INSTRUMENTS, 2020). O circuito completo possui ainda o uso de um capacitor após a bateria, e outro após o regulador de tensão, com o intuito de reduzir possíveis *ripples* vindos da fonte de tensão.

Figura 41 – Circuito abaixador de tensão e resultado de sua simulação.



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Proteus

Os valores dos resistores para se obter um valor desejado de tensão, pode ser calculado pela equação C , tal equação foi fornecido no datasheet do próprio componente. Para o valor de tensão de desejado de 5 V, foi escolhido primeiro o valor de R1 como sendo 240 Ω, que para valores de resistores comerciais resulta na associação em série de um resistor de 220 com dois resistores de 10 Ω e com o uso da equação, foi encontrado o valor de R2 como sendo 720 Ω, que para valores comerciais de resistores, resulta na associação em série de um resistor de 560 Ω, um resistor de 150 Ω, e um resistor de 10 Ω. Um fator importante deste redutor de tensão, é que sua saída é independente do valor da tensão de entrada, fazendo com que o valor da tensão de alimentação dos componentes eletrônicos permaneça sempre na faixa de valores desejados, mesmo que a bateria comece a descarregar.

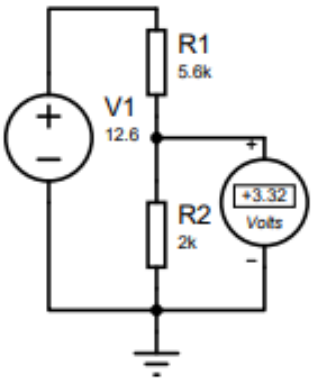
$$V_o = 1,25 \cdot (1 + \frac{R2}{R1})\ [V] \tag{C.1}$$

É importante notar o uso de um subsistema para medir a carga da bateria presente no circuito do drone. Este subsistema é composto por um divisor de tensão resistivo,

apresentado na figura 48 que diminui a tensão em carga máxima da bateria de 12,6 V (HYPERION, 2016), para o nível lógico da raspberry pi (0 V - 3.3 V), sendo este divisor de tensão calculado pela equação C, apresentada em (SADIKU, 1994). Para os cálculos deste circuito, foi inicialmente definido R1 = 5,6 $k\Omega$, e com isso, R2 foi calculado como R2 = 2 $k\Omega$, que em termos de resistores comerciais se trata de uma associação em série de dois resistores de 1 $k\Omega$ cada. Este valor de tensão reduzido, passa então por um conversor AD para medir o nível de tensão da bateria, para a partir disso, encontrar sua carga, esse circuito se faz necessário devido a necessidade deste sistema de proteção para evitar que o drone acabe descarregando antes de chegar em uma área de recarregamento.

$$Vo = V_i \cdot (\frac{R2}{R1 + R2}) \tag{C.2}$$

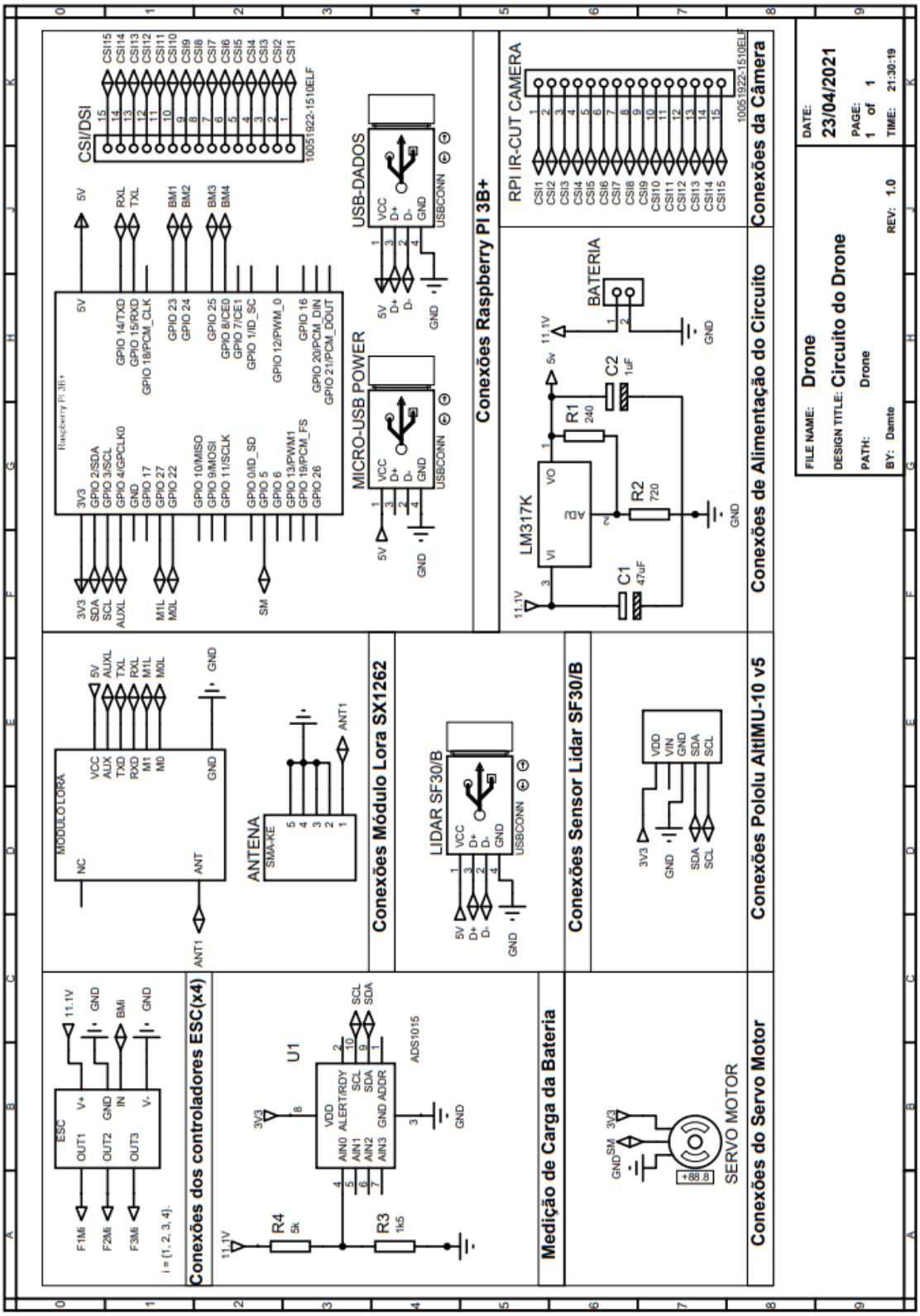
Figura 42 – Circuito do divisor resistivo e o resultado de sua simulação.



Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Proteus

Uma alternativa a este circuito para medir o nível da bateria seria o uso de um microcontrolador com um conversor AD interno para encontrar o nível da bateria ao invés da raspberry pi, porém o uso desta foi definido no início do projeto, e o desenvolvimento dos códigos de programação já haviam sido iniciados quando este problema foi encontrado, tornando essa opção inválida. Outra opção seria o uso de um chaveador para apontar apenas quando um nível crítico de bateria fosse atingido, porém esta opção também foi descartada devido ao nível crítico da bateria ser dependente da distância que o drone precisa percorrer para chegar a um ponto onde possa ser recarregado, e a melhor opção encontrada foi uma obtenção de valores constantemente com o uso de um conversor AD, tornando possível a determinação da porcentagem exata da bateria a qualquer momento.

Figura 43 – Diagrama Esquemático do Drone



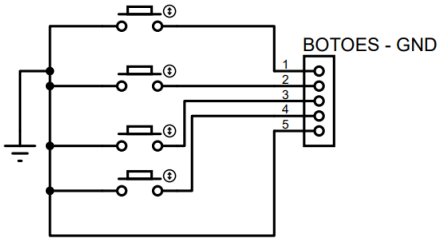
Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Proteus

APÊNDICE D – Placas de Circuito Impresso

Assim como nas demais etapas do projeto, o desenvolvimento das PCIs foi separado em duas partes, sendo desenvolvidas uma placa para o circuito da central de controle e uma placa para o circuito do drone.

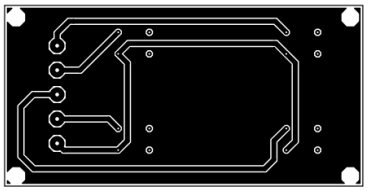
Para o caso da central de controle, esta placa desenvolvida possui apenas a fixação de suas chaves tácteis, as quais são fixadas na placa por meio de soldagem, e suas conexões são levadas a blocos terminais de parafuso, para que seja possível sua conexão com a raspberry pi por meio de cabos. O circuito desenvolvido para tal está apresentado na figura 44, e as vistas das placas desenvolvidas encontram-se na figura 45.

Figura 44 – Circuito utilizado para desenvolvimento da PCI para a central de controle.

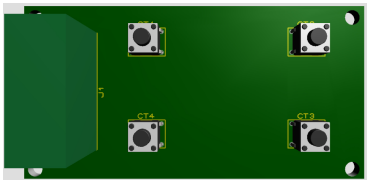


Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Proteus

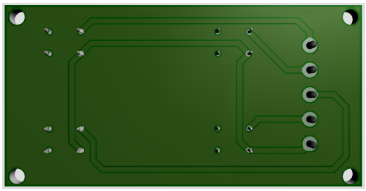
Figura 45 – PCI desenvolvida para a central de controle



(a) Trilhas inferiores da PCI



(b) Vista superior do modelo 3D da PCI



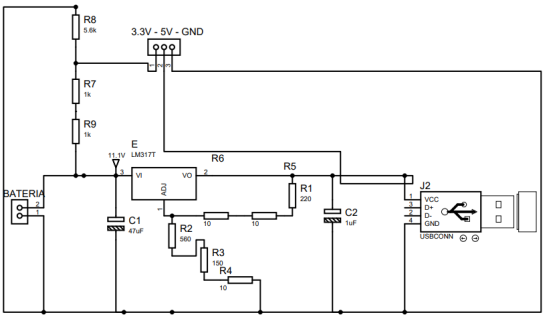
(c) Vista inferior do modelo 3D da PCI

Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Proteus

Para o caso do drone, o circuito desenvolvido é um pouco mais complexo devido ao fato deste conter o circuito do conversor abaixador de tensão e do circuito divisor de tensão do módulo de medição de nível da bateria. Nesta PCI serão soldados os resistores, os capacitores e o regulador de tensão. Na placa, será ainda conectada a bateria em blocos terminais de parafuso, e a placa possuirá uma saída USB (para alimentar a raspberry PI),

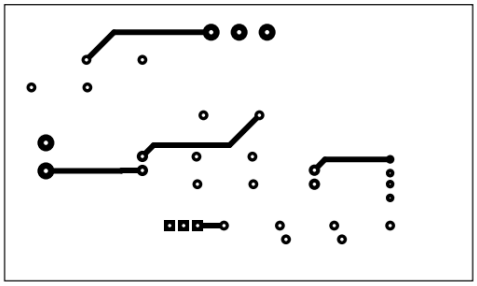
e um outro bloco terminal de parafuso, sendo este usado para alimentação do servo motor, e para a saída do circuito divisor de tensão para o conversor AD responsável pela medição do nível da bateria.

Figura 46 – Circuito utilizado para desenvolvimento da PCI para o drone.

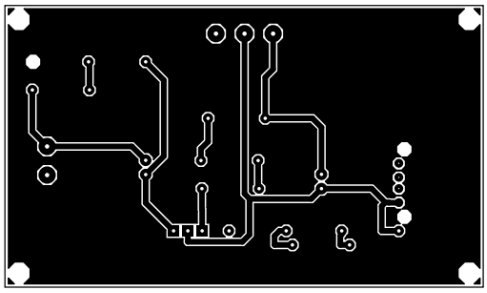


Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Proteus

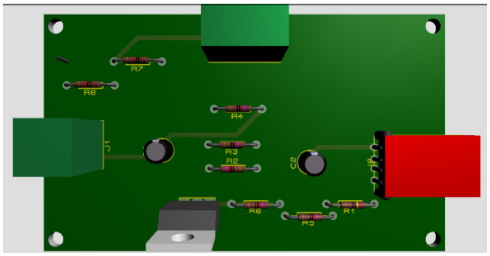
Figura 47 – PCI desenvolvida para o drone



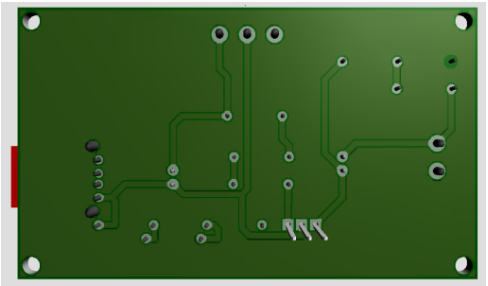
(a) Trilhas superiores da PCI



(b) Trilhas inferiores da PCI



(c) Vista superior do modelo 3D da PCI



(d) Vista inferior do modelo 3D da PCI

Fonte: Autoria própria, desenvolvido utilizando o Software Proteus

APÊNDICE E – Dimensionamento do Sistema de Carregamento Off-Grid

Para fins de determinar os equipamentos para compor o sistema de carregamento off-grid o tempo de uso na missão foi estipulado considerando que a central de controle consome menos energia que o carregamento da bateria do drone, mas se mantém mais tempo em funcionamento para transmissão de informações, assim o conjunto tem um consumo calculado (Cc) de 131Wh.

Para garantir que o sistema produza energia suficiente para manter os equipamentos durante a missão será considerado uma produção 20% acima do consumo calculado, assim se aplica o fator de correção (Ft) de 0,8 em para se encontrar o consumo ideal (Ci):

$$Ci = \frac{Cc}{Ft} = \frac{115Wh}{0,8} = 163,75Wh \tag{E.1}$$

Um outro fator levado em consideração dentro do projeto é que as missões do DAMTE poderão acontecer em qualquer região do país, ou seja, o sistema de carregamento off-grid ficará sujeito as horas de pleno sol (Hps) de cada região (SOUZA, 2013). Para fins do projeto foram consideradas 4 horas de sol em uma região qualquer de missão para cálculo da potência do módulo fotovoltaico (Pmf):

$$Pmf = \frac{Ci}{Hps} = \frac{163,75Wh}{4h} = 40,9375W \tag{E.2}$$

Para acompanhar o sistema também é calculada a corrente necessária para o controlador de carga a ser agregado ao conjunto usando a potência e tensão do módulo. Para o projeto será utilizado um módulo de 50W e 12V, respeitando a Pmf calculada.

$$Cca = \frac{P}{V} = \frac{50W}{12V} = 4,1667A \tag{E.3}$$

Cca é a corrente calculada para o controlador de carga.

E por fim calculamos a corrente da bateria do sistema para o projeto tomando como base o maior tempo de uso entre os equipamentos mapeados e corrente do controlador, que para o projeto será considerada em 10A:

$$Cb = Cca \times Mtu = 10A \times 2h = 20Ah \tag{E.4}$$

Cb é a corrente da calculada para bateria em Ampere-hora (Ah) e Mtu é o maior tempo de uso de um equipamento.

Com a corrente da bateria definida, o inversor escolhido é o de onda senoidal modificada de 300W, que se adapta ao pico de potência dos equipamentos e será a saída de Vca (Tensão em corrente alternada) do sistema.

E.0.1 Dimensionamento da bateria do drone

O cálculo do dimensionamento da bateria do drone tem como base a potência elétrica dos motores e a potência dos componentes eletrônicos. A tabela a seguir demonstra os componentes eletrônicos e suas respectivas tensões de operação, correntes máximas e potências.

Tabela 33 – Consumo dos componentes eletrônicos do drone.

Componente	**Quantidade**	**Tensão de Operação** [V]	**Corrente Máxima [A]**	**Potência Máxima [W]**
Raspberry Pi 3B+	1	5,00	2,50	12,50
Servo-Motor SG90	1	5,00	0,22	1,10
Controlador ESC	4	3,30	0,29	0,95
Total	6	-	-	17,42

Fonte: Autoria própria

Em relação aos motores foi considerado o total da potência máxima, da potência em voo pairado e da potência em voo variado, sendo todos eles obtidos através da simulação de motores. Seus valores podem ser observados na tabela seguinte.

Tabela 34 – Consumo de potência dos motores do drone.

Potência Máxima [W]	**Potência em voo pairado [W]**	**Potência em voo variado [W]**
731,70	291,70	359,43

Fonte: Autoria própria

Foi definido um fator de segurança de 15% em relação à capacidade da bateria para garantir o funcionamento apropriado do drone e a integridade física da bateria. A potência de voo variado (Pvv) foi obtida a partir da capacidade de energia da bateria simulada (Esim) em kiloWatt hora, considerando o fator de segurança; e do tempo de voo (Tvoo) obtido em horas.

$$Pvv = \frac{E}{Tvoo} = \frac{75,48Wh}{0,21h} = 359,43W \tag{E.5}$$

Para determinar a capacidade de energia teórica da bateria (Eteorica), o tempo de voo máximo (Tvoo) foi definido como 12 minutos e a potência (Ptotal) calculada é a soma

da potência dos componentes eletrônicos com a potência dos motores em voo variado que totaliza 376,86W.

$$E = Ptotal \times Tvoo = 376,86W \times 0,2h = 75,37Wh \tag{E.6}$$

Em seguida, utiliza-se o fator de segurança de 15% para achar a capacidade de energia real da bateria (Ereal).

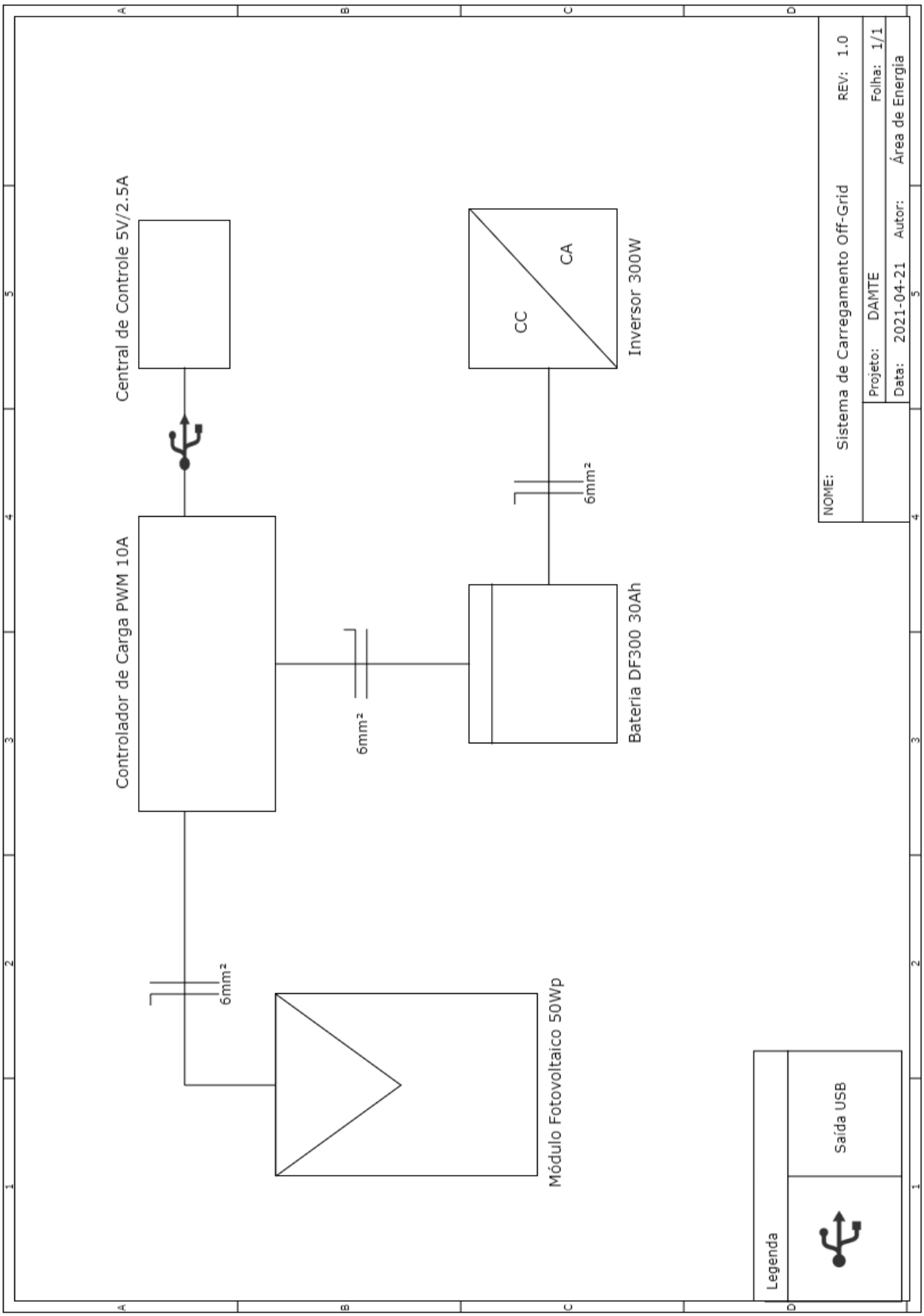
$$Ereal = \frac{Eteorica}{0,85} = \frac{75,7Wh}{0,85} = 88,67Wh \tag{E.7}$$

A bateria possui 3 células de 3,7V em série, resultando em uma tensão nominal de 11,1V. A definição da carga (C) é feita a partir da capacidade de energia real e da tensão (V) da bateria.

$$C = \frac{Ereal}{V} \times 1000 = \frac{88,67Wh}{11,1} \times 1000 = 7988,48mAh \tag{E.8}$$

A partir da carga calculada, se conclui que a bateria mais adequada para o projeto possui 8.000mAh.

Figura 48 – Diagrama Unifilar do Sistema de Carregamento Off-Grid



Fonte: Autoria própria

APÊNDICE F – Manual de fabricação do drone e de sua central de controle

Será apresentado orientações para a fabricação da estrutura do drone DAMTE e orientações para a fabricação da estrutura da sua central de controle em impressão 3D. O preço da estrutura do drone resultou em 52,42 reais e o preço relacionado a estrutura do controle resultou em

F.0.1 Orientações gerais para uso de uma impressora 3D

- Escolha a tensão de entrada correta que corresponda à sua rede local (220V ou 110V);
- Siga as instruções detalhadas para uso disponíveis em sua impressora;
- Não coloque a impressora perto de fontes de calor ou materiais inflamáveis ou explosivos. Recomenda-se colocá-la em um ambiente bem ventilado e sem poeira.
- Não exponha a impressora a fortes vibrações ou qualquer ambiente instável, pois isso pode fazer com que a qualidade de impressão diminua;
- Calibrar e testar a máquina;
- Durante a operação, não toque nos injetores ou na superfície de impressão, pois eles podem estar muito quentes. Ao usar a máquina, não coloque as mãos sobre ela para evitar queimaduras ou ferimentos;
- Ao operar a impressora, não use luvas ou roupas largas. Essas roupas podem ficar presas nas partes móveis da impressora, causando queimaduras, ferimentos ou danos à impressora.
- Sempre use as ferramentas fornecidas quando você for limpar os detritos da extremidade quente da impressora. Não toque no bocal diretamente quando é aquecido;
- Limpe a impressora com frequência. Sempre desligue a energia ao limpar e use um pano seco para limpar a poeira, plásticos impressos aderidos ou qualquer outra estrutura, guia ou material ferroviário de rodas. Use limpador de vidro ou álcool isopropílico para limpar a superfície de impressão antes de cada imprimível, a fim de obter resultados coerentes.

F.0.2 Orientações específicas para a impressão do DAMTE

- Tecnologia de moldagem: FDM;
- Utilizar o filamento PETG;
- Pré aquecimento do filamento: determinar a temperatura para pré aquecer o filamento de PETG
- Alimentação: pressione e segure a alavanca extrusora e insira o fio no orifício pequeno da extrusora. Continue a alimentação até ver o fio saindo do bocal.
- Nivelar camada: Mova o bocal para o parafuso de nivelamento dianteiro/esquerdo e ajuste a altura da plataforma girando o botão por baixo. Conclua o ajuste nos quatro cantos e repita as etapas acima, 1 a 2 vezes, se necessário.
- Instalar o software específico da sua impressora para passar a modelagem das peças.
- Preparar para imprimir: abra o software, carregue o arquivo CAD das peças, selecione os arquivos desejados, depois aguarde o corte terminar e salve o arquivo no cartão TF.
- Imprimir: Insira o cartão TF na impressora, selecione a opção "imprimir a partir de TF", e logo em seguida selecione o arquivo a ser impresso.
- As peças devem ser impressas na orientação "HX";
- Detalhes para a modelagem dos componentes da estrutura estão nos desenhos técnicos localizados no Apêndice B.

F.0.3 Orientações específicas para a impressão da central de controle

- Tecnologia de moldagem: FDM;
- Utilizar o filamento ABS;
- Pré aquecimento do filamento: determinar a temperatura para pré aquecer o filamento de ABS;
- Alimentação: pressione e segure a alavanca extrusora e insira o fio no orifício pequeno da extrusora. Continue a alimentação até ver o fio saindo do bocal.
- Nivelar camada: Mova o bocal para o parafuso de nivelamento dianteiro/esquerdo e ajuste a altura da plataforma girando o botão por baixo. Conclua o ajuste nos quatro cantos e repita as etapas acima, 1 a 2 vezes, se necessário.

- Instalar o software específico da sua impressora para passar a modelagem das peças.
- Preparar para imprimir: abra o software, carregue o arquivo CAD das peças, selecione os arquivos desejados, depois aguarde o corte terminar e salve o arquivo no cartão TF.
- Imprimir: Insira o cartão TF na impressora, selecione a opção "imprimir a partir de TF", e logo em seguida selecione o arquivo a ser impresso.
- As peças devem ser impressas na orientação "HX";
- Detalhes para a modelagem da central de controle estão localizados no Apêndice B.

APÊNDICE G – Manual de montagem da central de controle

G.0.1 Geral

G.0.1.1 Características do equipamento

Central de controle responsável por receber os dados do mapeamento obtidos e controlar o drone.

Confeccionado com todos os componentes estruturais em ABS, através de impressão 3D.

A manutenção ou montagem deve ser realizada por um profissional técnico qualificado.

O técnico responsável pela manutenção ou montagem deve estar em posse de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), como luvas e óculos de proteção

Em toda manutenção do equipamento, deve ser observado o desgaste nos encaixes em toda a estrutura e nos componentes móveis.

Na ausência de componentes do equipamento durante a montagem, ou presença de componentes com defeitos, o fabricante deverá ser contatado para provê-los ou realizar a troca.

G.0.1.1.1 Características técnicas

- Alimentação: 5,0 V
- Bateria interna: LiPo
- Dimensões: 250x250x40 mm
- Peso aproximado: 0,88 kg

G.0.2 Montagem

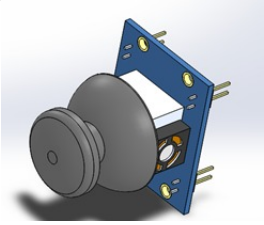
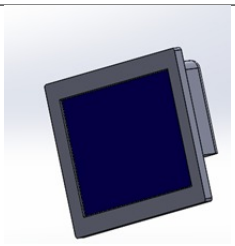
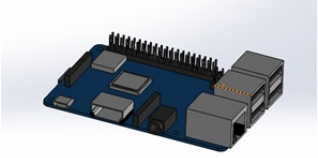
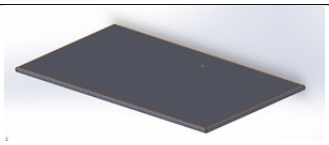
A montagem do controle deve ser feita contando-se todos os componentes do controle a PCB (Criada pelo Grupo de Eletrônica). Seguindo alguns passos:

1. O Lora conectado a antena é encaixado sobre Raspberry PI;

2. botões são soldados na PCB;
3. joysticks ligados por cabos no conversor AD;
4. o conversor AD ligados por cabos a Raspberry PI;
5. a bateria é conectada a PCB;
6. Raspberry PI ligada ou monitor por meio de cabo HDMI.

G.0.2.1 Posicionamento dos componentes na estrutura

Tabela 35 – Componentes para fixação na estrutura

Número	**Componente**	**Descrição**	**Unidades**	**Fixação**
1		Joystick	2	Ligados por cabo na Raspberry PI
2		Tela	1	Conectada na Raspberry PI por cabo HDMI
3		Raspberry PI	1	Conectada na bateria
4		Bateria	1	Conectada na PCB

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE H – Manual de Usuário

H.1 Introdução

O dispositivo Damte se trata de um drone auxiliar de mapeamento terrestre, projetado inicialmente para ser utilizado em situações de desastre onde este pode auxiliar no processo de uma missão de salvamento. Com capacidade de mapeamento 3D em voos com uma altura de até 50m do solo. Com uma velocidade máxima de vôo estimada de até 55km/h e um tempo de vôo de pelo menos 12 minutos de duração, e comunicação entre drone e central de controle com um alcance de até 5 km.

H.2 Principais Recursos

Com o uso da tecnologia Light Detection And Ranging (Lidar), o drone consegue realizar um mapeamento 3D sobre a área sobre a qual este sobrevoa, como objetivo de auxiliar na escolha das rotas a serem tomadas durante o salvamento. Possuindo também uma câmera com capacidade de filmagem em situações de alta ou baixa luminosidade, para não tornar o drone inutilizável durante períodos noturnos em regiões sem iluminação elétrica. O controlador de vôo foi desenvolvido de maneira a conseguir proporcionar uma tela com um bom tamanho de 8 polegadas, de maneira a possibilitar o usuário visualizar os dados mapeados ou obtidos pela câmera com detalhes.

H.3 Especificações Técnicas da Aeronave

Tabela 36 – Especificações Técnicas

Estrutura	
Peso	2163,41 g
Dimensões	441,59 mm x 441,59 mm x 162,17 mm
Comunicador	
Máximo Alcance	5 km
Frequência de Comunicação	915MHz
Sensor de Mapeamento 3D	
Alcance de detecção	50m
Taxa de Amostragem	2000/s
Câmera	
Sensor	OV5647
Resolução	5MP (2592x1944 pixeis)
Alimentação	
Bateria LiPo	11,1V/8000mah
Movimentação	
Velocidade máxima	55km/h

Fonte: Autoria própria

H.4 Especificações Técnicas da Central de Controle

Tabela 37 – Especificações Técnicas da Central de Controle

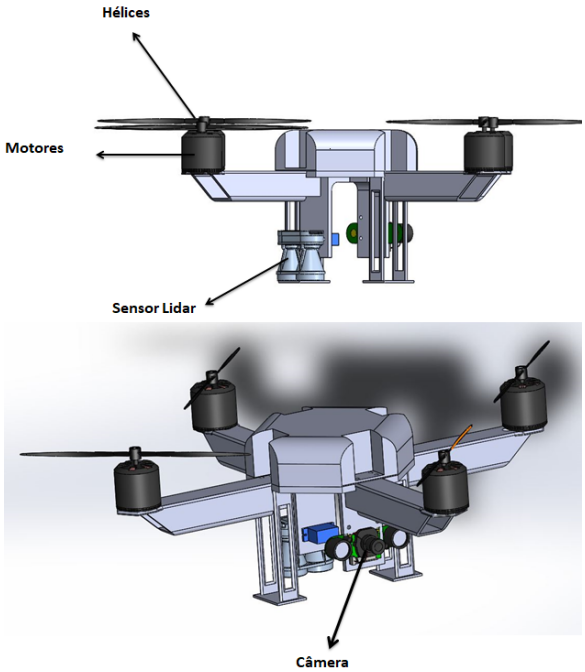
Estrutura	
Peso	0,45 kg
Dimensões	250 mm x 250 mm x 40 mm
Comunicador	
Máximo Alcance	5 km
Frequência de Comunicação	915MHz
Monitor	
Proporção de Tela	4:3
Dimensões	8"
Resolução	1024x768 pixels
Alimentação	
Bateria LiPo	3,7V/4000mah

Fonte: Autoria própria

H.5 Itens da Aeronave

Os principais itens a serem vistos na aeronave do produto Damte estão apresentados na figura abaixo.

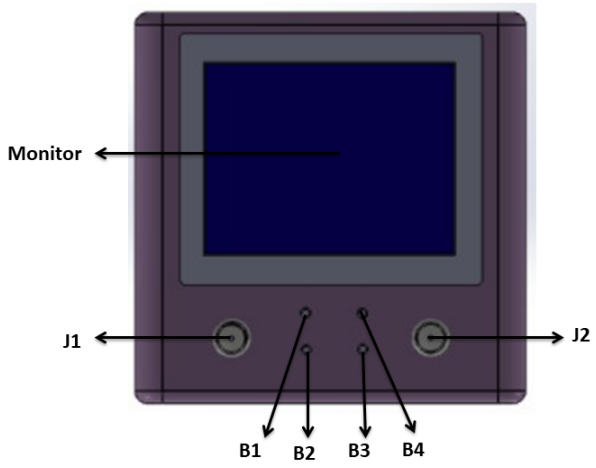
Figura 49 – Marcação dos principais partes presentes no drone



H.6 Itens e da Central de Controle e operação do equipamento

Os principais itens a serem observados na central de controle do Damte estão descritas na figura abaixo:

Figura 50 – Marcação das principais partes presentes na central de controle



A operação do equipamento deve ser feita seguindo as funcionalidades de cada componente da central de controle, como descritas abaixo:

- **Monitor:** É a parte de visualização de dados do controlador, através do qual será possível observar dados dos seus sensores, visualização de imagens da câmera e do local mapeado pelo drone.
- **J1:** Joystick através do qual será possível controlar a altura do drone através da sua movimentação verticalmente. E através de sua movimentação lateralmente, será possível realizar a rotação do drone em seu próprio eixo. O joystick J1 possui ainda uma chave táctil em seu centro que pode ser pressionado para alternar entre a apresentação ou não dos dados dos sensores (acelerômetro, giroscópio, magnetômetro e barômetro) e do nível da bateria do dispositivo.
- **J2:** Joystick através do qual será possível controlar as movimentações do drone de modo a fazer ele se movimentar para frente e para trás (através da movimentação vertical do joystick). Ou para a direita e esquerda, através da movimentação lateral do joystick.O joystick J1 também possui uma chave táctil em seu centro que pode ser pressionado para alternar entre a gravação ou não das imagens obtidas pela câmera.
- **B1:** Será o botão responsável por realizar o desligamento e ligamento do dispositivo.
- **B2:** Será o botão responsável por fazer com que o drone volte para o local de onde ele saiu, para caso onde o controlador não consiga identificar onde este está.

- **B3:** Será o botão responsável por iniciar ou pausar o mapeamento 3D do terreno.
- **B4:** Será o botão responsável por alternar a apresentação de dados no monitor entre as imagens da câmera e os dados do terreno mapeado obtidos pelo sensor Lidar.

H.7 Recursos de Segurança:

O dispositivo possui recursos de segurança para evitar danos ao drone em casos emergenciais.

H.7.1 Caso 1: Perda de Sinal

Para o caso de perda de sinal entre os comunicadores Long Range (LoRa) que realizam a comunicação entre o drone e a central de controle, uma rotina de segurança é acionada, que faz com que o drone retorne para o local de onde o drone saiu.

H.7.2 Caso 2: Baixo Nível de Bateria

O drone possui um sistema que mede o nível de sua bateria, e identifica através da distância entre este e o local de onde ele partiu se sua bateria ainda é o suficiente para retornar, e caso seja identificado uma zona de risco, o drone aciona a mesma rotina para voltar para o local de onde saiu.

H.7.3 Caso 3: Ativação Manual

A central de controle, através do seu botão B2, ativa a rotina de retorno do drone para o local de onde este saiu. Isso faz com que, caso o controlador não consiga identificar onde o drone está, ou esteja com problemas com seu controle, consiga fazer o drone voltar para o local de onde este saiu.

H.8 Carregando a bateria do drone

1. Retire a bateria do drone de forma cuidadosa.
2. A bateria deve ser plugada ao carregador balanceador de carga.

H.9 Carregando a central de controle

O carregamento da central de controle é feito via USB por meio do controlador de carga presente no sistema de carregamento off-grid.

O sistema de carregamento off-grid é uma parte adicional do drone que pode ou não ser adquiriada pelo usuário, caso o usuário não disponha do recurso a central de controle pode ser carregada por meio de um carregador a 5V/2.5A.

H.10 Conservação e Manutenção

Para assegurar uma maior longevidade do produto, deve-se seguir padrões para sua conservação, e manutenção.

H.10.1 Conservação

É necessário sempre tomar cuidados em relação ao armazenamento do drone e da central de controle, para aumentar a vida longa do dispositivo. Além disso, é recomendado tomar algumas medidas para aumentar a vida útil dos componentes deste dispositivo:

Conservação das Baterias: Para uma maior vida útil das baterias, é recomendado quando o dispositivo não for utilizado por longos períodos de tempo, removê-las e armazená-las com carga entre 25 e 30 %. É recomendado também, que as baterias do drone sejam recarregadas antes de cada vôo, para evitar que esta acabe rapidamente e gerando um acidente inesperado.

Conservação dos motores e componentes eletrônicos: Para uma maior conservação dos motores e componentes eletrônicos, é recomendado evitar o contato destes com água, ou poeira em excesso. É recomendado ainda, a realização de limpezas periódicas dos componentes eletrônicos empoeirados com álcool isopropílico e uma flanela de microfibra para evitar danos aos componentes eletrônicos.

Conservação da parte estrutural: É recomendado a realização de limpezas periódicas das partes estruturais do drone e da central de controle, de modo a aumentar a vida útil das peças que compõem o drone.

H.10.2 Manutenção

Manutenções do Usuário: Para a manutenção do drone, é recomendado a realização de inspeções estruturais pelo usuários. As manutenções principais a serem realizadas pelo usuário são:

- **Parafusos:** É necessário analisar antes de cada decolagem possíveis parafusos frouxos na estrutura, visto que por se tratar de uma aeronave, é esperado que o drone passe por situações de grande vibração, que afrouxem alguns parafusos de tempos em tempos, como por exemplo os parafusos que fixam as hélices, fazendo com que estas fiquem deslocadas e sofram danos.

- **Substituição periódica de componentes:** As hélices do drone tendem a apresentar problemas de tempos em tempos, portante, é importante que o usuário sempre tenha peças de reposição para substituir estas de tempos em tempos, a depender do tempo de uso, para evitar maiores problemas.

Manutenção Corretiva: Além das manutenções preventivas, é necessário estar atento a possíveis problemas de difícil solução que podem ocorrer ao drone como por exemplo, danos estruturais, ou mal funcionamento de seus sistemas eletrônico. A solução deste tipo de problema pode ser variada a depender do problema apresentado, portanto, é recomendado que sua manutenção seja feita por profissionais especializados.

APÊNDICE I – Auto Avaliação

Tabela 38 – Contribuição dos Membros - Eletrônica

Aluno	**Contribuição**	**Função**
Lucas Gonçalves Campos	Participação na escolha dos componentes, definição dos métodos de comunicação entre estes. Desenvolvimento do plano de testes, participação na criação do plano de construção e participação na criação dos códigos de programação do sistema embarcado.	Desenvolvedor
Pedro Henrique Amaral	Participação na escolha dos componentes, definição dos métodos de comunicação entre estes. Observação: Não responde mensagens há alguns dias.	Desenvolvedor
Wemerson Fontenele Sousa	Participação na escolha dos componentes, definição dos métodos de comunicação entre estes. Desenvolvimento dos diagramas esquemáticos, projeto de PCI's, desenvolvimento do plano de construção, participação na criação dos códigos de programação do sistema embarcado e participação no desenvolvimento do manual de usuário.	Diretor de Eletrônica e Energia

Fonte: Autoria própria

Tabela 39 – Contribuição dos Membros - Estrutura

Aluno	**Contribuição**	**Função**
Bruno Ramos Ribeiro	Definição do modelo estrutural do drone; Idealização inicial da central de controle; Realização de cálculos analíticos para serem usados na simulação estrutural do drone; Realizar análises das simulações para definir o material do drone e auxiliar na escolha da geometria do drone; Responsável pelo manual de fabricação do drone e da central de controle; Responsável pela integração final dos tópicos do relatório da parte de estrutura, escrevendo todos os tópicos que não foram definidos como tarefa para outros integrantes, como classificação e regulamentação do drone	Diretor de Estrutura
Felipe Coelho Serra Gonçalves	Definição modo de fabricação do drone; Definição dos motores e hélices; Definição do material para a central de controle; Responsável pelo manual de fabricação e montagem da central.	Desenvolvedor
Tiago Rodrigues dos Santos	Idealização da estrutura inicial do drone; Otimização da estrutura do drone; Realização dos desenhos técnicos; Integração dos componentes eletrônicos e da energia com o drone e central de controle.	Desenvolvedor
Vinícius Hiroshi Souza Miwa	Levantamento de possíveis materiais para a fabricação do drone; realização de todas as simulações estruturais do drone; auxilio na escolha do material do drone; escolha das direções ortotrópicas do material do drone; auxilio na escolha da geometria do drone; transcrição do relatório estrutural para o software "Overleaf" e auxilio na unificação, escrição e revisão do relatório estrutural.	Desenvolvedor

Fonte: Autoria própria

Tabela 40 – Contribuição dos Membros - Software

(contínua)

Aluno	**Contribuição**	**Função**
Érico Maximiano Bandeira	Auxílio na elaboração dos casos de uso; Auxilio na elaboração do diagrama de atividades; Auxílio na criação backlog e das histórias de usuário; Auxílio na criação backlog e das histórias de usuário; Definição de requisitos, requisitos funcionais e não funcionais; Explicação dos casos de uso; Refatoração do diagrama de atividades; Definição do diagramas de atividades; Refatoração do diagrama de classes; Elaboração dos requisitos de software; Elaboração do cronograma de software.	Diretor de Software
José Aquiles	Inclusão de tomada de decisão no relatório; Refatoração do diagrama de atividades; Auxilio na elaboração inicial do cronograma; Reimplementação do blockchain em python; Auxílio na criação dos requisitos; Pesquisa na viabilidade de usar tangle no lugar de blockchain; implementação do algoritmo baseado em blockchain em c++; Elaboração dos requisitos de software; Elaboração do cronograma de software	Desenvolvedor
João Vitor de Moura	Definição das atividades de software; Definição dos dispositivos e serviços; Criação dos diagramas de casos de uso; Criação do diagrama de atividades; Definição da visão de implementação; Criação do diagrama de classes; Definição da arquitetura da informação; Definição da inovação; Criação do backlog e das histórias de usuário; Definição e formatação da matriz de riscos; Definição e criação da EAP; Formatação geral do relatório; Definição da integração de software; Criação do diagrama de integração dos subsistemas; Criação do código e definição do algoritmo de mapeamento, situação de emergência e retorno ao local onde ocorreu a emergência; Revisão geral do relatório; Elaboração dos requisitos de software; Elaboração do cronograma de software	Diretor de qualidade

(conclusão)

Aluno	**Contribuição**	**Função**
João Vítor Lemos	Primeira versão do tópico de inovação; primeira versão da arquitetura da informação; Auxílio na criação do backlog, dos requisitos e das histórias de usuário; Adição de algumas definições; Aumento do referencial teórico com citações em definições e inovação; auxílio na implementação da classe de blockchain em c++; Auxílio na reimplementação da classe de blockchain em python; Elaboração dos requisitos de software; Elaboração do cronograma de software	Desenvolvedor
Rafael Santos Teodosio	Auxilio na elaboração do diagrama de casos de uso; Criação do documento de casos de uso; Auxílio na elaboração do diagrama de atividades; Auxílio na elaboração do diagrama de classes; Alteração do LiDAR na arquitetura de informação; Criação do backlog e das histórias de usuário; Correção dos requisitos funcionais e não funcionais; Correção dos Casos de uso; Correção do backlog; Implementação do algorítimo de processamento de pontos; Correção da visão de implementação; Criação do documento de algorítimo de processamento de pontos; Revisão do documento de algorítimo do modelo baseado em blockchain; Elaboração dos requisitos de software; Elaboração do cronograma de software	Desenvolvedor

Fonte: Autoria própria

Tabela 41 – Contribuição dos Membros - Energia

Aluno	**Contribuição**	**Função**
Guilherme Gonçalves Machado	Dimensionamento das baterias para o drone e para a central de controle; Auxílio no Diagrama Unifilar; Realização de Cálculos adicionais referentes aos componentes eletrônicos	Desenvolvedor
Samara Cristina Silva dos Santos	Dimensionamento do sistema de carregamento off-grid; Esquemáticos de ligações de energia; Diagrama Unifilar; Participação no manual do usuário; Revisão dos pontos de controle.	Coordenadora Geral

Fonte: Autoria própria