

INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

RODRIGO DE SOUZA SANTOS

**SISTEMA AÉREO DE MONITORAMENTO DE EMISSÕES RADIOATIVAS -
SAMER**

Rio de Janeiro

2025

RODRIGO DE SOUZA SANTOS

**SISTEMA AÉREO DE MONITORAMENTO DE EMISSÕES RADIOATIVAS -
SAMER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Nucleares do Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Ciência em Engenharia Nuclear – Profissional em Métodos Computacionais

Orientadores: Prof. Dr. Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira e Prof. Dr. Paulo Cezar Rocha Silveira.

Rio de janeiro

2025

SANT de Souza Santos, Rodrigo.

Sistema Aéreo de Monitoramento de Emissões Radioativas-SAMER / Rodrigo de Souza Santos. – Rio de Janeiro: CNEN/IEN, 2025.

xiii, 81f.: il.; 31 cm.

Orientadores: Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira e Paulo Cezar Rocha Silveira.

Dissertação (mestrado) – Instituto de Engenharia Nuclear, PPGIEN, 2025.

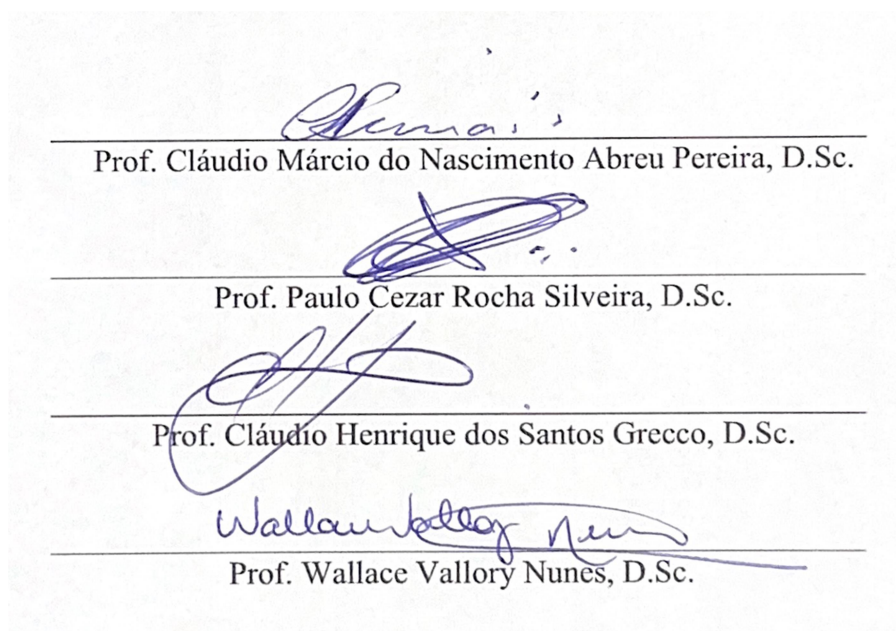
1. Veículo Remotamente Pilotado.
2. Aeronave Remotamente Pilotada.
3. Emissões radioativas.

SISTEMA AÉREO DE MONITORAMENTO DE EMISSÕES RADIOATIVAS - SAMER

Rodrigo de Souza Santos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA NUCLEARES DO INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR – PROFISSIONAL EM MÉTODOS COMPUTACIONAIS

Aprovada por:



Prof. Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, D.Sc.

Prof. Paulo Cezar Rocha Silveira, D.Sc.

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco, D.Sc.

Prof. Wallace Vallory Nunes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelas oportunidades concedidas durante este processo de aprendizado e pela possibilidade de interagir com profissionais extraordinários durante o curso de mestrado acadêmico no IEN.

Aos meus pais, pela dedicação em me proporcionar uma educação de qualidade e por me incentivarem a estudar de forma contínua, pois acreditavam que o conhecimento transforma o indivíduo e por consequência transforma a sociedade.

A minha esposa e filhos, que compartilharam do meu ideal me estimulando a persistir na jornada frente aos mais diversos desafios, compreendendo meus momentos de ausência em decorrência da dedicação ao projeto.

Aos professores Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira e Paulo Cezar Rocha Silveira, orientadores deste trabalho, pelo incentivo e empenho dedicados para possibilitar a realização deste projeto.

RESUMO

A evolução tecnológica contribuiu para a elaboração de técnicas de construção em escala nanométrica o que possibilitou o desenvolvimento de sistemas eletrônicos ultracompactos. Baseados nestes sistemas foram construídos diversos Veículos Remotamente Pilotados (RPV), dentre estes, a Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), também conhecida como “Drone”, têm alcançado grande relevância em diversos segmentos. Os RPV's apresentam características que favorecem a realização de tarefas complexas ou que ofereçam riscos à saúde humana possibilitando a execução de tarefas como monitoramento de locais de desastre, acesso a ambiente em águas ultra profundas ou o monitoramento do deslocamento de lava vulcânica. Um dos ambientes hostis à presença humana é o ambiente onde existem materiais radioativos proporcionando um contexto para a aplicação das potencialidades dos sistemas de RPV's. Neste trabalho é descrito o desenvolvimento de um sistema que utiliza uma RPA para monitoramento e detecção de emissões radioativas possibilitando o acompanhamento e a verificação da intensidade destas emissões. O sistema também é capaz de identificar a localização destas emissões possibilitando a elaboração de um mapa das emissões encontradas na área monitorada, o sistema realiza o registro das informações coletadas e posterior análise destas informações. Com o objetivo de avaliar as possibilidades de emprego do sistema, foi elaborada uma abordagem para a realização do levantamento radiométrico de uma determinada área, que consiste na realização de dois sobrevoos sobre a área citada, um sobrevoou dinâmico para identificar pontos de maior probabilidade de presença de material radioativo e outro sobrevoou mais específico para a verificação da intensidade da taxa de dose nos pontos identificados no sobrevoou anterior. Apenas os dados referentes ao primeiro sobrevoou serão tratados neste trabalho. O desenvolvimento do sistema proporcionou a identificação de possibilidades de expansão do próprio sistema e de integração com outros sistemas, possibilidades que poderão ser exploradas em desenvolvimentos futuros.

Palavras-chave: Veículo Remotamente Pilotado. Aeronave Remotamente Pilotada. Emissões radioativas.

ABSTRACT

Technological developments and construction techniques at the nanometer scale have enabled the development of ultra-compact electronic systems. Based on these systems, several Remotely Piloted Vehicles (RPV) were built, among them, the Remotely Piloted Aircraft (RPA), also known as "Drone", have achieved great relevance in several segments. RPVs have characteristics that favor the performance of complex tasks or that pose risks to human health, enabling the execution of tasks such as monitoring disaster sites, accessing environments in ultra-deep waters or monitoring the displacement of volcanic lava. One of the environments hostile to human presence is the environment where there are radioactive materials, providing a context for the application of the potential of RPV systems. This work describes the development of a system that uses an RPA to monitor and detect radioactive emissions, enabling the monitoring and verification of the intensity of these emissions. The system is also capable of identifying the location of these emissions, enabling the creation of a map of the emissions found in the monitored area. The system records the information collected and subsequently analyzes this information. In order to evaluate the possibilities of using the system, an approach was developed to carry out a radiometric survey of a given area, which consists of carrying out two flyovers over the aforementioned area, a dynamic flyover to identify points with a higher probability of the presence of radioactive material and another more specific flyover to verify the intensity of the dose rate at the points identified in the previous flyover. Only the data relating to the first overflight will be treated in this work. The development of the system provided the identification of possibilities for expanding the system itself and integrating it with other systems, possibilities that could be explored in future developments.

Keywords: Remotely Piloted Vehicle. Remotely Piloted Aircraft. Radioactive emissions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01:	Balão Intrepid utilizado na guerra civil americana -----	17
Figura 02:	Navio rádio controlado de Nikola Tesla -----	18
Figura 03:	RP-01 de Reginald Denny -----	19
Figura 04:	BQM-1BR Primeiro RPV Brasileiro -----	20
Figura 05:	Vant para captura de imagens aéreas -----	20
Figura 06:	VANT Predator -----	21
Figura 07:	Robô Antibomba Cobham Teodor -----	22
Figura 08:	RPV terrestre russo da série "Lobo" -----	22
Figura 09:	ROV tentando conter vazamento de petróleo no Golfo do México -----	23
Figura 10:	Telescópio Espacial Hubble -----	25
Figura 11:	RPV anfíbio russo da série "Lobo" -----	25
Figura 12:	O T-Hawk usado em Fukushima -----	26
Figura 13:	Funcionamento do sistema SAMER -----	27
Figura 14:	Construção de uma Bateria LIPO -----	31
Figura 15:	Frame F450 com trem de pouso -----	32
Figura 16:	Placa APM 2.6 -----	33
Figura 17:	Módulo GPS U-Blox M8N -----	34
Figura 18:	Dispositivo ESC -----	36
Figura 19:	Motor D2836-8 -----	37
Figura 20:	Motor D2836-8 datasheet -----	37
Figura 21:	Hélice 9047 -----	38
Figura 22:	Módulo RX V8FR II FrSky -----	39
Figura 23:	Telemetria 3DR -----	40
Figura 24:	Detector de radiação RadiationD-v1.1(CAJOE) -----	42
Figura 25:	Modelagem do suporte do detector -----	42
Figura 26:	Suporte impresso em 3D -----	43
Figura 27:	Suporte com detector instalado na UAM -----	43
Figura 28:	Arduino Pro micro -----	45
Figura 29:	RunCam Eagle 2 Pro -----	46
Figura 30:	Imagem do OSD SAMER -----	46
Figura 31:	Mini OSD -----	47
Figura 32:	MWOSD CONFIGURATOR -----	47
Figura 33:	Transmissor Eachine TS832 -----	48
Figura 34:	Antena spiroNET -----	49
Figura 35:	Rádio Turnigy 9X -----	50
Figura 36:	Módulo transmissor DJT -----	50
Figura 37:	Óculos FPV EV800DM -----	51
Figura 38:	Receptor Eachine RC832 -----	53
Figura 39:	Software Mission Planner -----	54
Figura 40:	Imagem OSD personalizada -----	55
Figura 41:	Variáveis do SAMER no software Mission Planner -----	55
Figura 42:	Opções do Menu do SAMER -----	56

Figura 43:	Registro dos pontos de radiação -----	56
Figura 44:	Teste de estabilidade -----	58
Figura 45:	Registro do tempo de voo da UAM -----	59
Figura 46:	Área delimitada e respectivo plano de voo -----	62
Figura 47:	Taxas de dose e suas respectivas localizações no mapa -----	62
Figura 48:	Heat map com posicionamento da fonte -----	66
Figura 49:	Gráfico de superfície 3D -----	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 01:	Relação dos componentes do SAMER -----	28
Tabela 02:	Custos do SAMER -----	57
Tabela 03:	Taxas de dose e suas respectivas localizações -----	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	- Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	- Agência Nacional de Telecomunicações
APM	- Ardu Pilot Mega
CPM	- Contagens Por Minuto
DECEA	- Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EM	- Estação de Monitoramento
EOC	- Estação de Operação e Controle
EOD	- Explosive Object Destruction
FPV	- Visão em Primeira Pessoa
GCS	- Ground Control Station
GNSS	- Sistema Global de Navegação por Satélite
IMU	- Unidade de Medida Inercial
OSD	- On Screen Display
ROV	- Veículo Operado Remotamente
RPA	- Aeronave Remotamente Pilotada
RPAS	- Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
RPV	- Veículo Remotamente Pilotado
SAMER	- Sistema Aéreo de Monitoramento de Emissões Radioativas
UAM	- Unidade Aérea de Monitoramento
USA	- Estados Unidos da America
VANT	- Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESE	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2.3	RELEVÂNCIA	16
3	TRABALHOS RELACIONADOS	17
3.1	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS - VANT	17
3.2	VEÍCULO TERRESTRE REMOTAMENTE PILOTADO	21
3.3	VEÍCULO AQUÁTICO REMOTAMENTE PILOTADO	23
3.4	VEÍCULO ESPACIAL REMOTAMENTE OPERADO	24
3.5	VEÍCULOS ANFÍBIOS	25
3.6	VRP EM APLICAÇÕES NUCLEARES	26
4	SISTEMA PROPOSTO	27
5	MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1	MATERIAIS UTILIZADOS	28
5.2	DESENVOLVIMENTO DA UNIDADE AÉREA DE MONITORAMENTO (UAM)	29
5.2.1	Subsistema energético	29
5.2.2	Subsistema de estrutura	31
5.2.3	Subsistema de gerenciamento de voo	32
5.2.4	Subsistema de propulsão	35
5.2.5	Subsistema de recepção de RF para controle remoto	38
5.2.6	Subsistema de comunicação de dados	39
5.2.7	Subsistema de sensores e aquisição de dados	40
5.2.9	Sistema On Screen Display (OSD)	46
5.2.10	Sistema de transmissão de vídeo TS832	48
5.3	DESENVOLVIMENTO DA ESTAÇÃO DE OPERAÇÃO E CONTROLE (EOC)	49
5.3.1	Subsistema de transmissão de RF para controle remoto	49
5.3.2	Subsistema de visão em primeira pessoa	51
5.4	DESENVOLVIMENTO DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO EM SOLO (EMS)	52
5.4.1	Subsistema de comunicação de dados	52
5.4.2	Subsistema de recepção de sinais de vídeo	52
5.4.3	Subsistema de Interface Homem Máquina (IHM)	53
5.5	SOFTWARES MODIFICADOS PARA O ESCOPO DO SISTEMA	54

5.6	CUSTOS DO PROJETO.....	57
6	TESTES DO PROTÓTIPO E RESULTADOS	58
6.1	TESTE DE ESTABILIDADE.....	58
6.2	TESTE DE AUTONOMIA.....	59
6.3	SOBREVOO TESTE PARA DETECÇÃO DE EMISSÕES RADIOATIVAS.....	60
6.4	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	65
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
8	FUTURAS EXPANSÕES.....	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	ANEXO A - CÓDIGO PARA TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES DO DETECTOR DE RADIÇÃO.....	77

1 INTRODUÇÃO

Controlar um dispositivo à distância ou fazer com que este funcione sem a intervenção humana é um objetivo almejado desde tempos remotos. Na atualidade estes dispositivos estão presentes no cotidiano da humanidade, desde brinquedos a sistemas sofisticados de operação remota ou de operação autônoma.

Um sistema que tem alcançado grande relevância é o Veículo Remotamente Pilotado (RPV). Estes veículos têm sido utilizados em atividades que envolvam riscos à saúde humana ou em lugares de difícil acesso. Como exemplo destes veículos podemos citar o Robô Antibomba Cobham Teodor utilizado para desarmar bombas (CASTELLI, 2013) ou o drone T-Hawk utilizado pelos japoneses para acessar locais com alta radiação em decorrência do acidente nuclear em Fukushima (GARRETT, 2013).

Outro RPV largamente utilizado é o ROV (Veículo Remotamente Operado) aplicado em operações em águas ultra profundas onde a alta pressão no fundo do mar dificulta ou mesmo inviabiliza o emprego de humanos nestas operações, a utilização destes veículos tornou possível à exploração de petróleo em águas profundas do nosso país.

Os sistemas embarcados nestes RPV's coletam uma grande gama de informações e as envia para o operador que pode monitorar estas informações através de dispositivos móveis como aparelhos de celular ou através de Estações de Controle de Terra, conhecidas como GCS's, do inglês, "Ground Control Station".

2 HIPÓTESE

Atualmente os RPV's possuem a capacidade de executar operações de complexidade relevante a grandes distâncias do operador. Um destes veículos é a Aeronave Remotamente Pilotada RPA, comumente conhecido como "Drone".

Um sistema utilizando uma RPA que possua sensores adequados para verificação de áreas de difícil acesso ou mesmo lugares hostis à presença humana, proporciona o monitoramento destes ambientes. Um exemplo de cenário para aplicação deste sistema é o monitoramento de áreas sujeitas à radioatividade, como num levantamento radiométrico de uma área com possível presença de material radioativo.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um protótipo de um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (RPAS) que tenha a capacidade de detecção, leitura e acompanhamento das emissões ionizantes de um material radiativo em uma área determinada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos para o desenvolvimento do Sistema Aéreo para Monitoramento de Emissões Radioativas são:

Desenvolver um sistema aéreo que possibilite a detecção e a leitura das doses radioativas em áreas de interesse.

Desenvolver um sistema aéreo que possibilite a execução de voos pairados permitindo a leitura da dose de radiação num determinado ponto da área de interesse.

Possibilitar a execução de voos de forma automática e de maneira mais estável o possível proporcionando uma leitura mais precisa das emissões radioativas.

Desenvolver um sistema que seja fácil de transportar e de operar possibilitando uma alta mobilidade para o sistema.

Possibilitar o registro das doses de radiação encontradas juntamente com suas coordenadas, apresentando estes pontos em um mapa.

Desenvolver um sistema que possibilite ao operador, visualizar de forma simples os valores de dose durante a operação do sistema.

O cenário hipotético que motivou este trabalho é o levantamento radiométrico de uma determinada área com possível presença de material radioativo. A verificação da aplicabilidade do protótipo foi experimentada por meio de testes realizados em áreas controladas e com a presença de fonte radioativa com posterior análise dos dados coletados.

2.3 RELEVÂNCIA

Este trabalho possibilitará a construção de um sistema com capacidades de voos de varredura para detecção e leitura de emissões radioativas de uma determinada área possibilitando o seu emprego na identificação, localização e monitoramento de áreas sujeitas à radioatividade. Como exemplo destes ambientes, podemos citar as instalações de uma usina termonuclear de geração de energia elétrica, depósitos de rejeitos radioativos e áreas de mineração de urânio, possibilitando localizar e identificar os locais com presença de emissões radioativas e suas respectivas taxa de dose.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre RPV e os sistemas embarcados (sistema de orientação) integrantes destes veículos possibilitando um melhor entendimento das técnicas existentes as quais serão implementadas neste projeto.

Os Veículos Remotamente Pilotados (RPV) podem ser projetados para operar em quatro tipos diferentes de ambientes: terrestre, aquático, aéreo e espacial. Em seguida veremos os conceitos, os exemplos, e a história de alguns destes veículos.

3.1 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS - VANT

O conceito de construir aeronaves não tripuladas para diversas aplicações já é desenvolvido desde o século XVIII, inicialmente, para atender necessidades militares. Um dos primeiros usos registrados foi de austríacos em julho 1849 que lançaram cerca de duzentos balões não tripulados transportando bombas contra a cidade de Veneza. Menos de duas décadas depois, durante a Guerra Civil dos EUA, balões não tripulados foram usados para missões de reconhecimento, o balão Intrepid apresentado na Figura 01 foi um dos utilizados (IAN, 2014).



Figura 01: Balão Intrepid utilizado na guerra civil americana
Fonte: (IAN, 2014)

Em 1883, Douglas Archibald instalou um anemômetro a um fio em uma “pipa” para poder medir a velocidade dos ventos em diferentes altitudes, atingindo uma altitude de 365,76 m. No dia 20 de julho de 1888, na França, Arthur Batat acoplou uma câmera fotográfica a uma “pipa”; sendo assim, o primeiro voo aero fotográfico registrado (PUSKOV apud MEDEIROS, 2007).

Em 1896, Samuel P. Langley desenvolveu uma gama de aeródromos a vapor, aviões não pilotados que foram voados com sucesso ao longo do Rio Potomac perto de Washington, DC. O controle remoto não seria possível sem avanços na tecnologia de rádio. O telégrafo marcou o início da revolução das telecomunicações. Em 1858, o primeiro telegráfico transatlântico foi concluído (IAN, 2014).

Nikola Tesla demonstrou pela primeira vez o controle remoto de veículos no final do século XIX. Em uma lagoa no Madison Square Garden, em 1898, o inventor controlou remotamente um barco com um sinal de rádio. Esta foi a primeira aplicação de ondas de rádio na história, o que significa que a Patente de Tesla No. 613.809 foi o berço da robótica moderna (IAN, 2014).

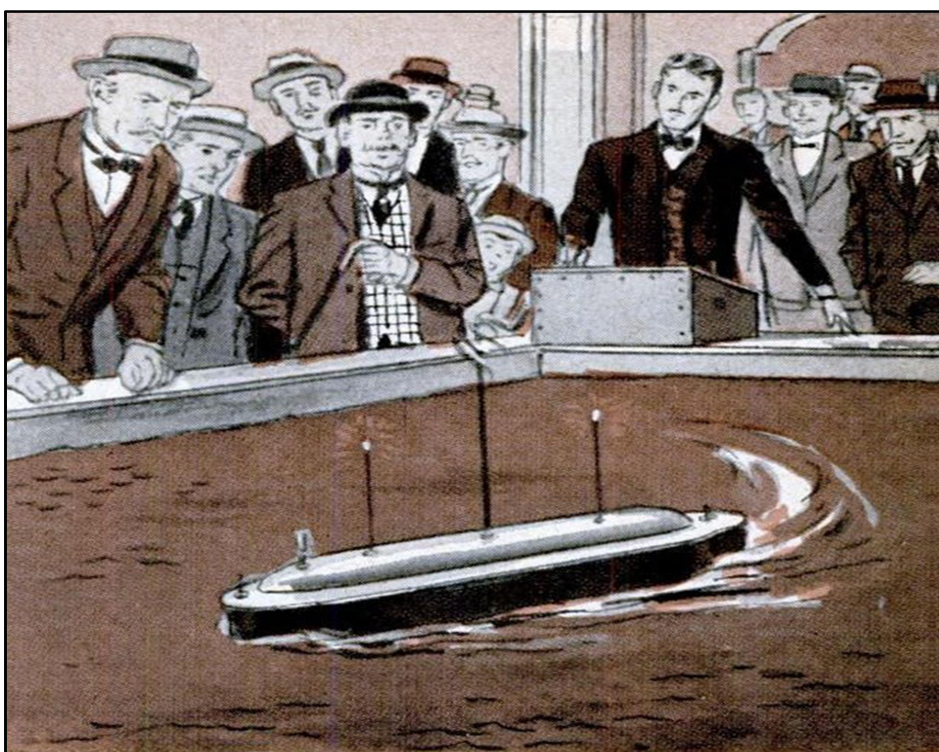


Figura 02: Navio radio-controlado de Nikola Tesla
Fonte: (IAN, 2014)

Em 1935, Reginald Denny projetou e testou o RP-1 ou RPV que foi o primeiro Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) radio-controlado. A partir desse momento, iniciaram-se as buscas pelo aperfeiçoamento, de forma que, nos anos seguintes, surgiram os protótipos PR-2 e RP-3, com diversos ensaios de voo. Em novembro de 1939, o protótipo RP-4 foi concluído, de modo que, naquele momento, era o mais completo dos RPV's. O exército dos EUA requisitou 53 unidades, doando-lhes a designação de OQ-1 (PUSKOV apud MEDEIROS, 2007).



Figura 03: RP-01 de Reginald Denny
Fonte: (NAUGHTON, 2006)

Na Primeira Guerra Mundial, os VANT's foram amplamente utilizados para vigilância aérea. Os analistas utilizaram stereoscopes para caçar pistas visuais sobre os movimentos do inimigo em fotos que foram costuradas juntas para formar mapas de mosaico. Esta análise visual tornou-se uma tecnologia dominante de reconhecimento militar (IAN, 2014).

Os VANT's foram usados como alvo para as forças militares no início do século XX. No período entre guerras e na Segunda Guerra Mundial, o drone foi imaginado como uma espécie de bomba voadora que poderia ser entregue por trás das linhas inimigas. Em seguida, durante a Guerra Fria o drone foi visto como uma plataforma de vigilância viável capaz de capturar imagens e fazer o monitoramento em áreas negadas (IAN, 2014).

No Brasil, no início da década de 80, surgia um dos projetos mais surpreendentes da época que se tem notícia na área de VANT's em nosso país. A CBT (Companhia Brasileira de Tratores), de São Carlos, SP, encomendava ao então CTA (Centro Tecnológico da Aeronáutica) o desenvolvimento de uma pequena turbina que possuísse cerca de 30 kg de

empuxo para ser instalada em um veículo não tripulado de 3,89m de comprimento, 28 cm de diâmetro, 3,8m de envergadura, estrutura metálica pesando 92,5 kg na decolagem. Seu tempo de voo era estimado em 45 minutos e após o pouso poderia ser reutilizado. A descrição acima se refere ao BQM-1BR, primeiro veículo remotamente tripulado a jato brasileiro planejado para ser construído 100% no país (PAULA, 2009).



Figura 04: BQM-1BR Primeiro RPV á jato Brasileiro
Fonte: (PAULA, 2009)

Outra aplicação de VANT é para a captação de imagens aéreas, muito utilizadas por fotógrafos e cinegrafistas que instalam suportes para câmeras com o objetivo de fazer imagens de casamentos, atividades esportivas e outras festividades (GARRETT, 2013).



Figura 05: VANT para captura de imagens aéreas. (Foto: AFP)
Fonte: (GARRETT, 2013)

Há ainda VANT's com uso mais ofensivo, armados para bombardear alvos militares. Assim como os modelos de vigilância, eles voam para áreas pré-determinadas, onde soltam bombas sobre os alvos. No geral, são aviões mais simples e a perda dessas máquinas, em virtude da defesa do inimigo, não representam grandes perdas. Afinal, o custo de uma aeronave não tripulada é muito inferior ao de aviões convencionais e a sua queda não representa custo humano. A figura abaixo apresenta o VANT Predator, um veículo de uso ofensivo amplamente utilizado pelas forças armadas dos Estados Unidos da América (USA) (GARRETT, 2013).



Figura 06: VANT Predator (Foto: Reprodução/Wired.com)
Fonte: (GARRETT, 2013)

3.2 VEÍCULO TERRESTRE REMOTAMENTE PILOTADO

Uma das aplicações de RPV's terrestres é na destruição de objetos explosivos (EOD), também conhecidos como robôs antibombas, os robôs são uma das muitas ferramentas que um técnico pode usar para neutralizar armas perigosas. (CASTELLI, 2013).

Um dos robôs antibomba muito utilizado é o Cobham Teodor. O robô base é um veículo que possui duas esteiras e serve como base para uma série de aplicações militares, mas o padrão Teodor é o especialista antibomba (CASTELLI, 2013).

O robô é equipado com um braço manipulador, sensores e uma câmera que permite que o operador desarme remotamente munições e artefatos explosivos improvisados (CASTELLI, 2013).

Na maioria dos casos, o técnico que trabalha com o robô vai sentar a uma distância segura com a estação de controle. Este é um dispositivo portátil do tipo que consiste em um monitor que mostra o ponto de vista do robô, bem como seus arredores, além de um joystick e painel de controle para manipular o braço e manobrar as esteiras (CASTELLI, 2013).

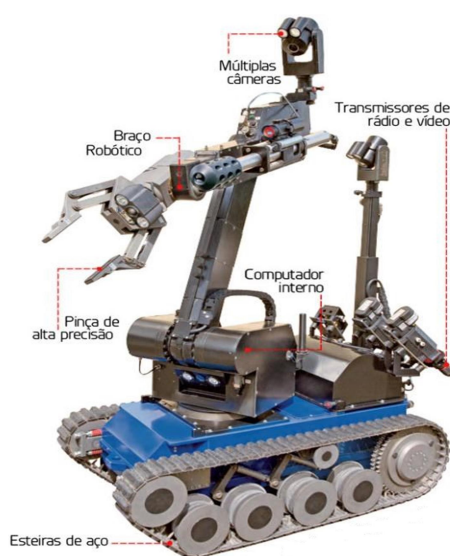


Figura 07: Robô Antibomba Cobham Teodor
Fonte: (CASTELLI, 2013)

A Rússia tem desenvolvidos pesquisas para o desenvolvimento de RPV's terrestres para atividades militares, alguns destes modelos são equipados com armas de fogo. Em seguida a Figura 09 apresenta um destes veículos russos da série sob o codinome “Lobo” (VOLTOLINI, 2014).



Figura 08: RPV terrestre russo da série “Lobo”
Fonte: (VOLTOLINI, 2014)

3.3 VEÍCULO AQUÁTICO REMOTAMENTE PILOTADO

Um tipo de veículo aquático remotamente pilotado é o ROV (Remotely Operated Vehicle), um veículo subaquático operado remotamente, que permite a observação do fundo do mar e de estruturas submarinas. A ligação entre o veículo e a superfície é assegurada por um cabo umbilical que permite a comunicação bidirecional, assim como o transporte de energia para o veículo (INSTITUTO HIDROGRÁFICO, 2017).

A utilização de um ROV permite a operação a maiores profundidades e durante um período mais prolongado do que seria possível utilizando mergulhadores. Além disso, é possível a operação em águas contaminadas que representam um risco para a vida humana (INSTITUTO HIDROGRÁFICO, 2017).

Os dados da navegação do veículo são integrados ao sinal de vídeo. Informações sobre a profundidade, o azimute, o número de voltas que o veículo tem acumulado sobre seu eixo, a data e a hora do mergulho são projetadas diretamente na tela de visualização do operador. A Figura 08 apresenta a imagem de uma tela visualizada por um operador de ROV (INSTITUTO HIDROGRÁFICO, 2017).

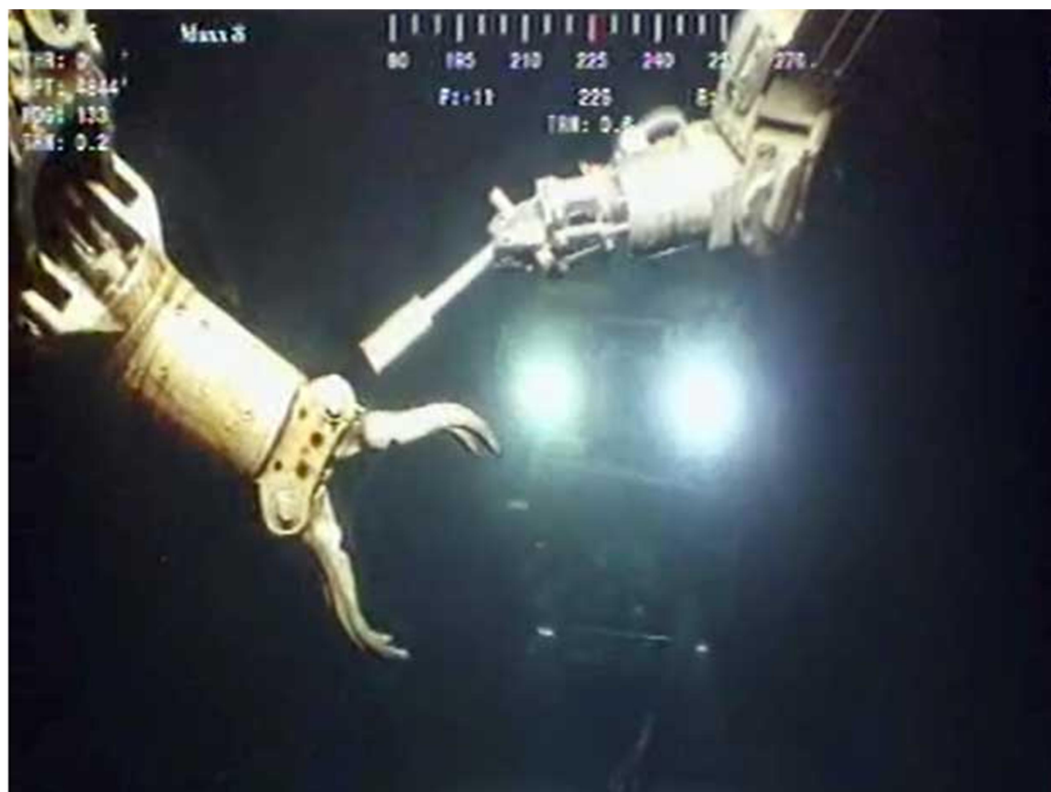


Figura 9: ROV em tentativa de conter vazamento de petróleo no Golfo do México
Fonte: (ARARE, 2010)

3.4 VEÍCULO ESPACIAL REMOTAMENTE OPERADO

O Telescópio Espacial Hubble, da NASA, foi o primeiro observatório astronômico projetado para ser colocado em órbita em torno da Terra com a capacidade de gravar imagens em comprimentos de onda de luz ultravioleta infravermelho (GARNER, 2016).

Lançado em 24 de abril de 1990, a bordo do ônibus espacial Discovery, o Hubble está localizado a 515 km acima da superfície da Terra onde se move a uma velocidade de 27.000 km/h o que lhe possibilita completar uma órbita em torno da Terra em 95 minutos, têm uma massa de 12.200 Kg, um comprimento de 13,2 m e um diâmetro de 4,3 m em seu ponto mais largo (NASA, 2025).

O observatório é alimentado por dois painéis solares que convertem a luz solar em energia elétrica que é armazenada em seis baterias de níquel-hidrogênio (NiH) com capacidade de armazenamento equivalente a 22 baterias de carro médias. As baterias permitem que o observatório opere durante a passagem pelas partes sombreadas da órbita de Hubble, quando a Terra bloqueia as radiações solares que atingem o satélite (NASA, 2025).

No meio da nave espacial, perto de seu centro de gravidade, estão instaladas quatro rodas de reação de 45 Kg cada, utilizadas para reorientar o observatório. Com base na terceira lei de Newton de movimento, para cada ação há uma reação igual e oposta. O satélite sabe onde e quando deve virar se baseando em um cronograma alvo carregado a partir do centro de controle, em seguida o computador principal do Hubble calcula quais rodas devem desacelerar e quais devem girar mais rápido para manobrar a nave para o novo destino (GARNER, 2016).

O Hubble utiliza giroscópios de alta precisão para detectar a sua taxa e direção de movimento. Em uma operação típica, o Hubble usa três giroscópios, mas tem seis para redundância do sistema. Um dos seis, de fato, fracassou, em Março de 2014 e esta configuração de backup permitiu o Hubble continuar a recolher os dados científicos. O Hubble pode operar com apenas um giroscópio, se necessário, mas com um pouco menos eficiência (GARNER, 2016).

Além de giroscópios, o Hubble possui três sensores finos da orientação (FGS), que fornecem informações de orientação para a sonda espacial, fixando-se em estrelas-guias. O FGS também pode funcionar como um instrumento científico, medindo com precisão as posições relativas das estrelas, detectando mudanças rápidas no brilho de uma estrela e identificando sistemas estelares duplos que aparecem como fontes pontuais até mesmo para as câmeras do Hubble (NASA, 2025).



Figura 10: Telescópio Espacial Hubble.
Fonte: (GARNER, 2016)

3.5 VEÍCULOS ANFÍBIOS

Veículos híbridos são veículos que possuem a capacidade de operar em mais de um ambiente distinto. Um modelo de veículo que opera tanto no ambiente aquático quanto em ambiente terrestre, é o veículo anfíbio. Abaixo a Figura 11 apresenta um veículo da série russa “Lobo” com estas características (VOLTOLINI, 2014).



Figura 11: RPV anfíbio russo da série “Lobo”
Fonte: (VOLTOLINI, 2014)

3.6 VRP EM APLICAÇÕES NUCLEARES

Quando grandes volumes de material radioativo são liberados na natureza, é necessário coletá-los rapidamente. No entanto, como essas substâncias são altamente nocivas, VANT's podem ser empregados nesse tipo de trabalho. No Japão, por exemplo, o acidente de Fukushima desencadeou o desenvolvimento de diversas unidades para trabalhar em acidentes radioativos (GARRETT, 2013).

Na época do desastre, os japoneses mandaram um T-Hawk, VANT equipado com câmeras, para capturar imagens do interior dos reatores danificados e estimar danos e estratégias de contenção dos vazamentos. Esse tipo de imagem seria impossível de se obter sem um VANT, já que seres humanos não sobreviveriam à viagem até a área para informar os estragos e estimar caminhos de ação (GARRETT, 2013).

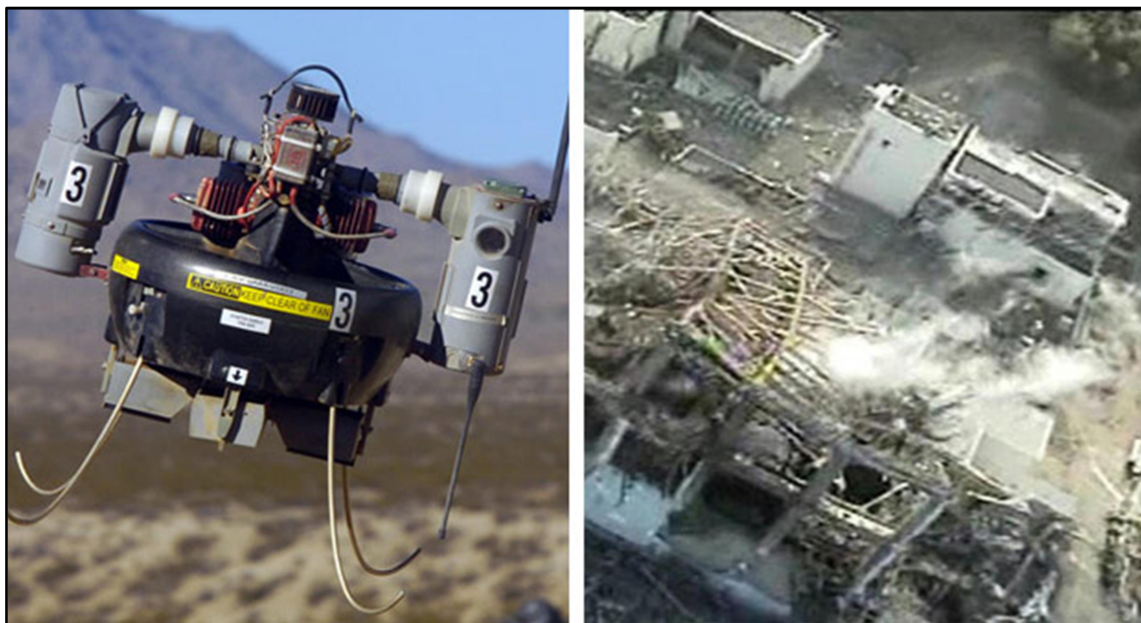


Figura 12: O T-Hawk usado em Fukushima. (Fotos: Engadget/CNN)
Fonte: (GARRETT, 2013)

4 SISTEMA PROPOSTO

O Sistema Aéreo de Monitoramento de Emissões Radioativas é composto por três partes distintas, a Unidade Aérea de Monitoramento (UAM), a Estação de Operação e Controle (EOC) e a Estação de Monitoramento em Solo (EMS).

A Unidade Aérea de Monitoramento é composta por um drone do tipo multirrotor com quatro rotores (quadrirotor ou quadricóptero) com capacidade de executar voos estabilizados e voos automáticos. A unidade aérea também possui embarcado, um detector de radiação para obtenção de medidas de dose, um sistema de câmera de vídeo e um dispositivo que projeta as informações de telemetria na imagem gerada pelo sistema de vídeo (OSD, do inglês, “On Screen Display”).

A Estação de Operação e Controle (EOC) é formada por um sistema de rádio dedicado para controle da unidade aérea e um sistema de Visão em Primeira Pessoa (FPV, do inglês, “First Person View”) que possibilita o operador monitorar as informações do sistema.

A Estação de Monitoramento em Solo é composta por um sistema conhecido como Estação de Controle em Terra (GCS) onde as informações de voo são apresentadas juntamente com o deslocamento da unidade aérea e os pontos de medição registrados. Estas informações são apresentadas em um mapa da região que está sendo monitorada.

Abaixo é apresentada uma imagem que ilustra a interação entre as partes componentes do SAMER.

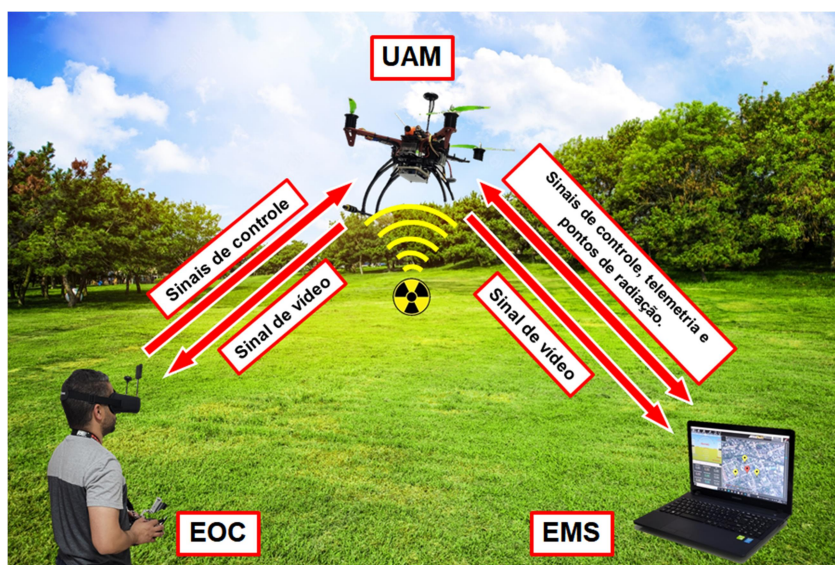


Figura 13: Funcionamento do sistema SAMER
Fonte: O autor (2025).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a montagem do protótipo são utilizados os componentes descritos na tabela 01 a seguir.

Tabela 01: Relação dos componentes do SAMER

Descrição	Quantidade
Bateria lipo 4S 7500 mAh	02 Unid.
Câmera de vídeo Run Cam Eagle 2 Pro	01 Unid.
ESC Brushless de 40A	04 Unid.
Frame F450	01 Unid.
Hélices perfil Clarck 9047	04 Unid.
Módulo de GPS Ublox MN8	01 Unid.
Motores D2836-8 1100 Kv	04 Unid.
Placa Arduino Pro Micro	01 Unid.
Placa controladora de voo APM 2.6	01 Unid.
Receptor de rádio Fr Sky V8FR II	01 Unid.
Detector de radiação RadiationD-v1.1(CAJOE)	01 Unid.
Sistema de transmissão e recepção de vídeo TS832/RC832	01 Unid.
Sistema On Sreen Display (OSD)	01 Unid.
Sistema de Visão em Primeira Pessoa (FPV)	01 Unid.
Software Mission Planner	01 Unid.
Software MWOSD	01 Unid.
Telemetria 3DR	01 Unid.
Transmissor de rádio Turnigy com módulo Fr Sky DJT	01 Unid.

Fonte: O autor (2025).

5.2 DESENVOLVIMENTO DA UNIDADE AÉREA DE MONITORAMENTO (UAM)

A Unidade Aérea de Monitoramento é composta pelos subsistemas descritos a seguir.

5.2.1 Subsistema energético

O subsistema energético é responsável por fornecer toda a energia para o funcionamento da UAM. É composto por uma bateria do tipo LiPo.

Baterias compostas por células de Polímero de Lítio têm como principal característica a vida útil, ausência do efeito memória (degradação do ânodo e/ou do eletrólito) e grande densidade volumétrica de energia. Além disso, se tornaram economicamente viáveis, podendo ser fabricadas em diferentes associações de células e formatos, em busca de maior capacidade, corrente de pico, tensão ou ambas simultaneamente (WOLLINGER, 2020).

A tecnologia permite que a bateria seja fabricada para diferentes fins, algumas células são desenvolvidas para ter grande taxa de descarga, como as baterias desenvolvidas para utilização em drones, automodelos, e entre outros. Nesse caso, em geral, a célula tem maior taxa de descarga e a possibilidade de ser recarregada de forma rápida com uma alta corrente elétrica em um dos estágios de carga. Baterias voltadas a um fornecimento contínuo de energia têm taxas de descarga/recarga menor e pouco efeito de selfdischarge e vida útil prolongada (WOLLINGER, 2020).

A bateria Lipo é composta por células que são ligadas em série para obter uma tensão de interesse. Cada célula é capaz de armazenar 3,7 V de tensão nominal, portanto uma bateria 1S tem 3,7v, uma bateria 2S tem $2 \times 3,7V = 7,4V$, e assim por diante, mas quando uma bateria é totalmente carregada ela é capaz de armazenar até 4,2V por célula (ARIAS, 2016).

A capacidade de armazenamento nominal das baterias deveria ser dada em Wh, mas geralmente é dada em mAh ou Ah, necessitando a multiplicação pela tensão nominal para obtenção da capacidade em Wh. Uma bateria de 3.6V 1000mAh, ou seja, 3.6Wh, pode fornecer uma corrente de 1A por uma hora, ou 500mA por duas horas e assim por diante. Ou seja, para o dimensionamento aproximado da autonomia, basta dividir a capacidade nominal pela potência média consumida pelo dispositivo (WOLLINGER, 2020).

As taxas de carga e descarga da bateria são indicadas pelas Taxas-C identificadas em cada bateria. Geralmente as taxas de carga das baterias são de 1C, ou seja, uma vez a capacidade de armazenamento da bateria em amperes. Já as taxa de descarga podem variar em virtude do tipo de célula utilizado e do arranjo aplicado na bateria, podem ser de 1C, 20C, 30C, 40C, 100C, 120C, etc. Como exemplo podemos considerar uma bateria que possua uma capacidade de armazenamento de 2200 mAh, portanto 2,2 Ah; multiplicando pelo fator de descarga de 20C encontramos uma corrente de pico de 44 A o que significa que esta bateria atende um sistema que necessite de até 44 A em sua operação, uma corrente maior acarretará danos à bateria (ARIAS, 2016).

Em bancos de baterias, e mesmo em packs, as células precisam não só ser carregadas, mas também balanceadas, por isso a maioria dos packs tem chicotes de recarga, que dão acesso aos pontos de associação das células. Um desbalanceamento pode afetar profundamente o desempenho, podendo gerar aquecimento desigual nas células mais descarregadas agravando ainda mais o quadro. Em casos extremos, o banco pode se perder por uma célula bastante afetada ou mesmo “morta” (WOLLINGER, 2020).

Seja qual for a composição, toda bateria tem restrições com a temperatura, as baterias de Lítio não são diferentes. As células mais antigas tinham temperatura de operação bastante restrita, as células de uso gerais mais modernas podem operar entre -20 a 60 °C, outras, de uso específico podem ter um range diferente. É saudável que a célula não gere ou gere pouco calor durante sua recarga, e que a temperatura ambiente não seja muito alta (WOLLINGER, 2020).

Algumas técnicas são empregadas para prolongar a vida útil, como super dimensionar a capacidade nominal da célula, exigir uma corrente menor que o limite, carregar até tensões menores que 4.2V e descarregar até tensões maiores que o limite inferior da célula (WOLLINGER, 2020).

O outro extremo também pode ser explorado, alguns drones de corrida, automodelos, aeromodelos e os carros de Fórmula-E utilizam baterias Li-Po com capacidade de descarga de até 60C, nesses casos, não se busca durabilidade e sim desempenho, capacidade e redução de peso, por isso, costuma-se carregar a célula acima dos 4.2 e descarregar abaixo dos 3V (WOLLINGER, 2020).

Algumas baterias têm um circuito de controle chamado de BMS (Battery Management System), destinados a proteger a célula contra over charge, deep discharge e over temperature

evitando assim alguns problemas mais sérios. Alguns desses circuitos encarregam-se inclusive de realizar a recarga e o balanceamento das células em operação (WOLLINGER, 2020).

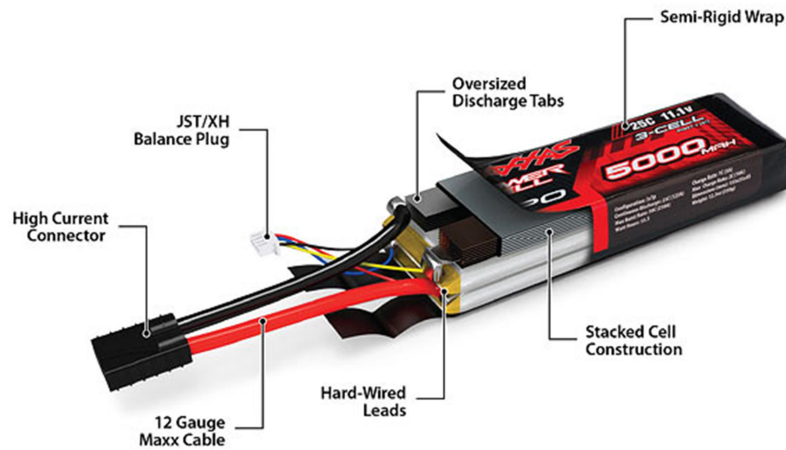


Figura 14: Construção de uma Bateria LiPo
 Fonte: (WOLLINGER, 2020)

5.2.2 Subsistema de estrutura

O subsistema de estrutura consiste numa plataforma que proporciona a integração física entre os componentes dos subsistemas da UAM. É composto por um quadro, também conhecido como frame, e por um trem de pouso acoplado ao quadro para possibilitar um maior distanciamento do dorso inferior da unidade ao solo proporcionando uma proteção ao detector de radiação.

O subsistema de estrutura tem como base de construção um Frame do drone F450 idealizado pela empresa DJI. Este frame possui uma estrutura resistente, compacta e pode ser facilmente adquirido apresentando uma excelente relação custo benefício.

O frame F450 possui uma distância entre eixos diagonal de 450 mm, os quatro braços são feitos do material ultra forte PA66 + 30GF que oferece melhor resistência a danos em aterrissagens difíceis, enquanto as placas do quadro principal usam um material PCB composto de alta resistência, o que torna a conexão de ESCs e bateria fácil e segura na parte inferior das duas placas da estrutura que também é o quadro de distribuição de energia. O conjunto pesa 282g (BYOD, 2022).

Para evitar impactos diretos no detector de radiação instalado no dorso do veículo, foi incorporado no frame um trem de pouso que estabelece uma distância de 16 cm entre o solo e o dorso do veículo.



Figura 15: Frame F450 com trem de pouso.
Fonte: (ALIEXPRESS-A, 2022)

5.2.3 Subsistema de gerenciamento de voo

O subsistema de gerenciamento de voo é responsável por gerenciar todas as variáveis necessárias para a realização do voo, para o controle de estabilidade e para a navegação da UAM. Este subsistema é composto pela placa APM 2.6 e pelo módulo GNSS M8N.

5.2.3.1 Placa controladora de voo APM 2.6

Para que a Unidade Aérea de Monitoramento do SMAER realize voos estabilizados e movimentos controlados, é necessária a utilização de um sistema eletrônico dotado de sensores capazes de identificar e monitorar as diversas variáveis envolvidas neste processo de controle e que possua um processamento capaz de verificar, avaliar e reagir de forma adequada.

Estes sistemas eletrônicos são denominados Placas Controladoras de Voo. No SAMER a UAM utiliza a placa controladora Ardu Pilot Mega (APM) na versão 2.6. As placas APM foram desenvolvidas no âmbito do projeto Ardupilot para operar com os códigos desenvolvidos por este projeto.

Ardupilot é um projeto de código aberto, para utilização de um conjunto de software destinado ao piloto automático em veículos não tripulados, permitindo controlar remotamente variados tipos de veículos como drones, aeronaves de asa fixa, helicópteros, carros, embarcações, submarinos e antenas de rastreamento (ARDUPILOT-A, 2020).

O Ardupilot foi originalmente desenvolvido por hobistas para controlar modelos de aeronaves e veículos pesados e evoluiu para um piloto automático completo e confiável, utilizado pela indústria, organizações de pesquisas (EURE, 2013) e amadores (ARDUPILOT-A, 2020).

A placa APM possui um microcontrolador Atmel 2560 como base de processamento, possui um barômetro que possibilita o monitoramento da altitude, possui um inclinômetro e um acelerômetro otimizados em um único sensor que possibilita o monitoramento da atitude da UAM. A placa APM possui também outros recursos como memória flash, interface de comunicação I2C e portas já otimizadas para comunicação com protocolos de telemetria e comunicação com módulos externos de GPS.

Uma melhoria que a placa APM 2.6 apresenta em relação as suas antecessoras é a utilização de módulos externos do sistema GPS o que permite posicionar estes módulos afastados de fontes geradoras de ruídos eletromagnéticos (ARDUPILOT-B, 2021).



Figura 16: Placa APM 2.6
Fonte: (ARDUPILOT-B, 2021).

5.2.3.2 Módulo de GNSS Ublox M8N

A unidade aérea de monitoramento possui a funcionalidade de determinação da sua posição geográfica através de um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Essas

informações são fornecidas por um módulo modelo Ublox MN8 que se utiliza da rede de satélites GNSS para a determinação da posição da unidade aérea.

A série NEO-M8 de módulos GNSS simultâneos é construída no mecanismo u-blox M8 GNSS de alto desempenho no formato NEO reconhecido pela indústria. Os módulos NEO-M8 utilizam recepção simultânea de até três sistemas GNSS (GPS/Galileo junto com BeiDou ou GLONASS), reconhecem várias constelações simultaneamente e fornece excelente precisão de posicionamento em cenários onde estão envolvidos desfiladeiros urbanos ou sinais fracos (U-BLOX, 2021).

Para mais precisa e mais rápida melhoria de posicionamento, o NEO-M8 A série suporta o aumento de QZSS, GAGAN e IMES juntamente com WAAS, EGNOS e MSAS. A série NEO-M8 também suporta proteção de integridade de mensagens, geofencing e detecção de falsificação com configurações de interface configuráveis para se adaptar mais facilmente às aplicações do cliente (U-BLOX, 2021).

O NEO-M8N é otimizado para aplicações de baixo custo, enquanto o NEO-M8N e o NEO-M8Q oferecem o melhor desempenho. O NEO-M8N e o NEO-M8J incluem um flash que permite futuras atualizações de firmware. Isto faz NEO-M8N e NEO-M8J perfeitamente adequados para aplicações industriais e aplicações automotivas (U-BLOX, 2021).

A interface DDC compatível com I2C fornece conectividade e permite sinergias com a maioria dos módulos celulares u-blox. Para otimização RF os módulos NEO-M8J, NEO-M8N e NEO-M8Q possuem um LNA de front-end adicional para integração de antena mais fácil e um filtro SAW frontal para maior imunidade a interferências (U-BLOX, 2021).

Os módulos u-blox M8 usam chips GNSS qualificados de acordo com AEC-Q100, são fabricados com certificação ISO/TS 16949 sites e são totalmente testados em nível de sistema. A qualificação dos testes são realizados conforme estipulado na norma ISO16750: “Veículos rodoviários – Condições ambientais e testes para equipamentos elétricos e eletrônicos” (U-BLOX, 2021).



Figura 17: Módulo GPS U-Blox M8N
Fonte: O autor (2025).

5.2.4 Subsistema de propulsão

O subsistema de propulsão é responsável por gerar a força necessária para elevar e manter a UAM nas altitudes necessárias ao voo de monitoramento. Este subsistema é composto pelo controlador eletrônico de velocidade (ESC), pelo motor e pela hélice.

5.2.4.1 Controlador Eletrônico de Velocidade (ESC)

Atualmente é possível observar a presença do controle de velocidade dos motores elétricos em toda a sociedade moderna. Assim, a lista de componentes que possuem controladores de velocidade inclui uma extensa gama de máquinas que vão desde eletrodomésticos básicos usados em uma casa como na garagem, jardim até grandes plantas industriais através de bombas, máquinas-ferramentas, correias transportadoras, etc. quão importante e necessária é esta técnica de controle de velocidade para diversas máquinas elétricas (ELPROCUS, 2022).

A função do ESC é atuar como intermediário regulador entre a bateria e o motor elétrico. Ele controla a rotação do motor, fornecendo sinais elétricos temporizados que são traduzidos em mudanças de velocidade. Ele utiliza a corrente contínua da bateria, acoplada a um sistema de comutação, para gerar uma corrente trifásica alternada que é enviada ao motor (NAGEL; BLOUIN, 2023).

Um controlador eletrônico de velocidade pode ser projetado com três componentes essenciais: um regulador de tensão/BEC (Circuito Eliminador de Bateria), um Processador e o circuito de comutação onde são incluídos os FETs. O circuito do BEC é separado do controle eletrônico de velocidade, este transmite energia ao receptor e aos servos (ELPROCUS, 2022).

Em um ESC, o transistor FET desempenha um papel fundamental ao realizar todos os trabalhos de comutação. Ele observa a corrente e tensão completas do motor, bem como a bateria. Este transistor funciona como um interruptor para controlar o fluxo de corrente para mover ou frear o motor elétrico (ELPROCUS, 2022).

Num ESC ou controle eletrônico de velocidade segue principalmente um sinal de referência de velocidade para alterar a velocidade de uma rede de comutação de transistores de efeito de campo (FET). A velocidade do motor pode ser alterada alterando a frequência de comutação ou o ciclo de trabalho dos transistores (ELPROCUS, 2022).

Existem vários protocolos de entrega de sinal usados para transmitir informações de aceleração do controle remoto para o ESC. Cada protocolo tem um desempenho ligeiramente diferente, sendo os mais comuns PWM, Oneshot, Multishot e Dshot (NAGEL; BLOUIN, 2023).

Geralmente, os sistemas ESC para motores sem escova (brushless) produzem energia CA trifásica, como um inversor de frequência variável (VFD). Esses tipos de motores são mais populares devido à sua potência, eficiência, leveza e longevidade em comparação com os motores escovados usuais (ELPROCUS, 2022).

Em geral, os controladores de velocidade baseados em programação incluem principalmente algumas opções que são especificadas pelo usuário que permitem frenagem, aceleração, temporização e direção de rotação. A inversão da direção da rotação do motor pode ser realizada comutando quaisquer dos 3 fios do ESC conectados ao motor (ELPROCUS, 2022).

Neste projeto utilizaremos um ESC que suporta uma corrente de até 40 amperes para controlar um motor brushless DC.



Figura 18: Dispositivo ESC
Fonte: (ALIEXPRESS-B, 2022)

5.2.4.2 Motores

Outro item integrante do sistema propulsor da unidade aérea é o motor, esta unidade utiliza quatro motores elétricos para fornecer o movimento mecânico e o torque necessários à hélice para produção da propulsão.

O motor utilizado na unidade aérea é do tipo sem escovas que apresenta uma maior eficiência energética quando comparado ao motor com escovas. O motor é do modelo D2836-8 da fabricante Turnigy e possui uma relação rpm/Volt de 1100Kv. O motor é apresentado na Figura 19 e o seu datasheet na Figura 20.



Figura 19: Motor D2836-8
Fonte: (HOBBYKING-A, 2022)

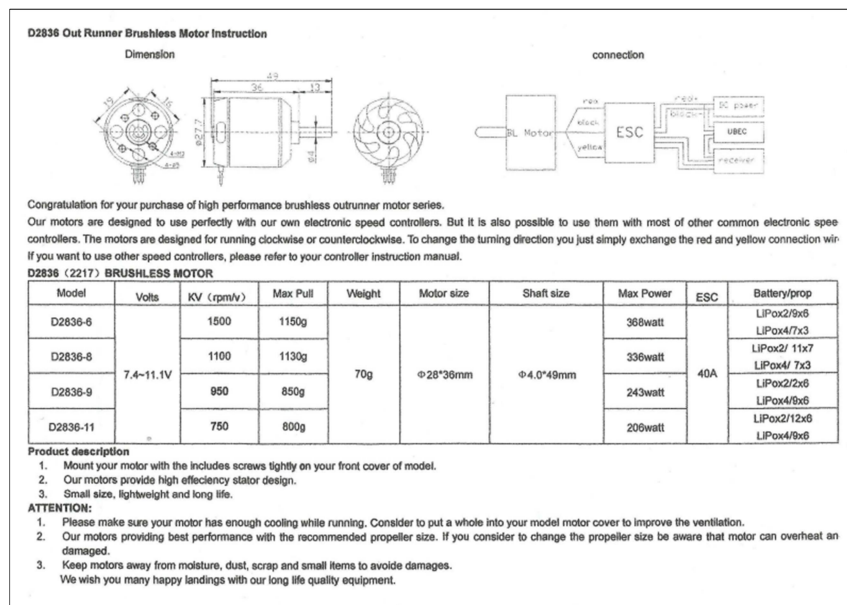


Figura 20: Motor D2836-8 datasheet
Fonte: (HOBBYKING-A, 2022)

5.2.4.3 Hélices perfil Clarck 9047

Um item fundamental do conjunto propulsor da unidade aérea é a hélice que é a parte responsável por converter o movimento rotativo de um motor em propulsão. É composta de

um cubo que é ligado a várias pás no formato de um aerofólio, de forma que toda a hélice gire em um eixo longitudinal (Wikipédia, 2022).

Uma característica da hélice que determina a quantidade de propulsão gerada é o ângulo de ataque das suas pás que é denominado passo. O passo da hélice pode ser fixo, ajustável (em solo) ou variável. A hélice é ligada a uma fonte de potência por um eixo diretamente ou, em projetos maiores, através de uma caixa de redução (Wikipédia, 2022).

A unidade aérea de monitoramento do SAMER utiliza uma hélice com um diâmetro de 228,6 mm (9,0 polegadas) e um passo de 119,38 mm (4,7 polegadas) (9047) composta de material plástico ABS.



Figura 21: Hélice 9047
Fonte: O autor (2025).

5.2.5 Subsistema de recepção de RF para controle remoto

O subsistema de recepção de RF é responsável por receber os dados de controle transmitidos através de um link de controle contínuo, estável e seguro entre a UAM e a EOC. É formado pelo módulo receptor de RF modelo Fr Sky V8FR II.

O controle e operação da UAM são realizados pela Estação de Operação e Controle (EOC) através de um enlace de Rádio Frequência (RF) estabelecido entre o módulo transmissor DJT e o módulo receptor V8FR II, ambos fabricados pela Fr Sky.

O módulo V8FR II possui 8 canais com saídas no padrão PWM os quais podem ser conectados diretamente na placa APM. O enlace dos módulos é estabelecido na faixa de RF de 2,4 GHz e pode alcançar distâncias superiores à 1,5 Km. O módulo V8FR II possui uma faixa de tensão de operação de 3 a 16 V e um consumo de 30 mA (FRSKY, 2020).

O firmware que compõe o piloto automático que opera na placa APM possui uma configuração de segurança que detecta a perda do enlace de controle RF. Caso esta perda seja

confirmada a placa APM assume o controle autônomo da UAM e faz com que esta retorne e pouse no ponto de decolagem inicial.



Figura 22: Módulo RX V8FR II Fr Sky
Fonte: (FRSKY, 2020).

5.2.6 Subsistema de comunicação de dados

O subsistema de comunicação de dados é responsável por estabelecer um link bidirecional de dados possibilitando a transferência de dados entre a UAM e a EMS. Através deste link é possível o tráfego de dados diversos e o envio de comandos da EMS para a UAM.

A UAM e a EMS trocam informações de maneira contínua através de um enlace de dados RF estabelecido pelo sistema de Telemetria 3DR concebido pela empresa 3DR Robotics.

Este sistema opera na frequência de 433 MHz estabelecendo um enlace bidirecional de transmissão serial de dados a uma taxa de até 250 Kbps com um código que corrige até 25% dos erros de bits. Possui uma potência de 500mW que possibilita transmissões a distâncias de até 1,6 Km (1 milha) que pode ser estendida através da utilização de antenas especiais (ALIEXPRESS-C, 2022).

Para uma comunicação eficiente através do enlace de dados estabelecido se faz necessária à utilização de um protocolo de comunicação. Neste projeto é utilizado o protocolo

MAVlink (Micro Air Vehicle Communication Protocol) lançado por Lorenz Meier em 2009 (MAVLINK, 2022).

O MAVLink é um protocolo de mensagens muito leve para comunicação com drones e entre os componentes embarcados no drone. O MAVLink segue um padrão de design híbrido moderno de publicação-assinatura e ponto a ponto. Os fluxos de dados são enviados / publicados como tópicos, enquanto os sub-protocolos de configuração e os parâmetros são retransmitidos ponto a ponto (MAVLINK, 2022).



Figura 23: Telemetria 3DR
Fonte: (ALIEXPRESS-C, 2022)

5.2.7 Subsistema de sensores e aquisição de dados

O subsistema de sensores e de aquisição de dados é responsável pela obtenção da leitura das taxas de dose de radiação ionizante, pela obtenção das informações de vídeo, pela sobreposição das informações de telemetria nas informações de vídeo e pela transmissão destas informações para a EOC e para a EMS. É composto pelo detector de radiação, uma placa Arduino, uma câmera de vídeo, um sistema OSD e um sistema de transmissão de vídeo.

5.2.7.1 Detector de radiação RadiationD-v1.1(CAJOE)

Para realizar a leitura e o monitoramento das emissões radioativas foi incorporado à UAM, um detector modelo RadiationD na versão v1.1 da CAJOE que utiliza um tubo de Geiger para a detecção da radiação.

Um contador Geiger pode detectar radiação ionizante, como partículas alfa e beta, nêutrons e raios gama, usando o efeito de ionização produzido em um tubo Geiger-Müller, que dá nome ao instrumento. A tensão do detector é ajustada para que as condições correspondam à região de Geiger-Mueller (CONNOR, 2020).

Nesta região, a voltagem é alta o suficiente para fornecer aos elétrons primários aceleração e energia suficientes para que eles possam ionizar átomos adicionais do meio. Esses íons secundários (amplificação de gás) formados também são acelerados, causando um efeito conhecido como avalanches de Townsend. Essas avalanches podem ser desencadeadas e propagadas por fótons emitidos por átomos excitados na avalanche original. Como esses fótons não são afetados pelo campo elétrico, eles podem interagir longe (por exemplo, lateralmente ao eixo) da avalanche primária, todo o tubo Geiger está participando do processo (CONNOR, 2020).

Um sinal forte (o fator de amplificação pode atingir cerca de 10^{10}) é produzido por essas avalanches com forma e altura, independentemente da ionização primária e da energia do fóton detectado. O pulso de tensão neste caso seria um grande e facilmente detectável $\pm 1,6$ V. A vantagem técnica de um contador Geiger é sua simplicidade de construção e sua insensibilidade a pequenas flutuações de tensão. É muito útil para medição geral de radiação nuclear, mas têm desvantagens importantes (CONNOR, 2020).

Como a altura do pulso é independente do tipo de energia da radiação, a discriminação não é possível. Não há informações sobre a natureza da ionização que causou o pulso (CONNOR, 2020).

Devido à grande avalanche induzida por qualquer ionização, um contador Geiger leva muito tempo (cerca de 1 ms) para se recuperar entre pulsos sucessivos. Portanto, os contadores Geiger não conseguem medir altas taxas de radiação devido ao “tempo morto” do tubo (CONNOR, 2020).

O detector pode identificar doses de 0,20 mSv/h a 1201,2 mSv/h de raios gama e possui uma tensão de trabalho aplicada no tubo recomendada de 380 V. Suporta uma diversificada variedade de tubos de Geiger e possui um buzzer que emite um sinal sonoro

quando ocorre a passagem de uma partícula ionizante através do tubo (ALIEXPRESS-D, 2022).

O circuito eletrônico do detector fornece um pulso de onda quadrada com amplitude de 5V sempre que há a detecção da partícula ionizante, esse pulso é utilizado para o registro das detecções ocorridas.



Figura 24: Detector de radiação RadiationD-v1.1(CAJOE)
Fonte: (ALIEXPRESS-D, 2022)

O detector foi fixado na região do dorso inferior da UAM através da utilização de um suporte que foi projetado especificamente com esta finalidade. A construção do suporte foi iniciada pela modelagem do mesmo através da utilização do software de modelagem Autodesk 3D Inventor, o resultado é apresentado na figura a seguir.

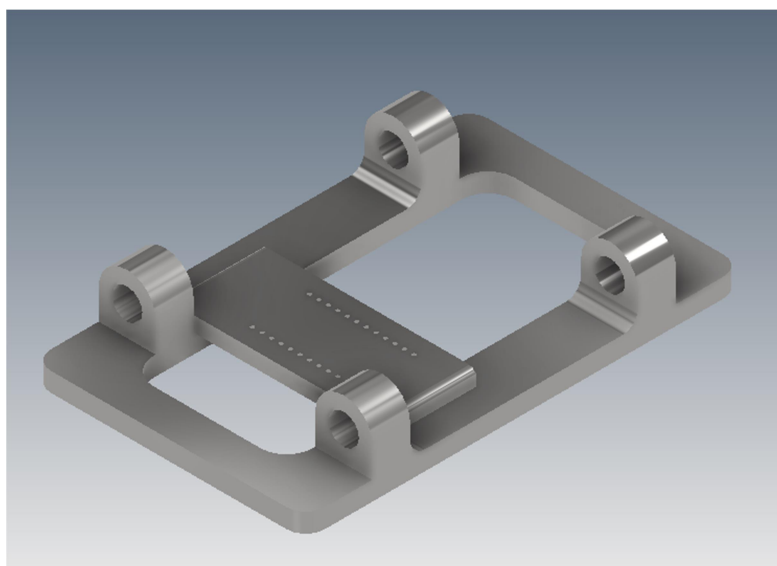


Figura 25: Modelagem do suporte do detector.
Fonte: O autor (2025).

Após a modelagem o suporte foi fabricado numa impressora 3D utilizando a técnica construtiva de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) que utiliza filamento de material termoplástico para produção de peças. O suporte foi fabricado com filamento do polímero Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) que confere uma boa estabilidade e resistência mecânica às peças. A peça após o processo de produção é apresentada na figura a seguir.

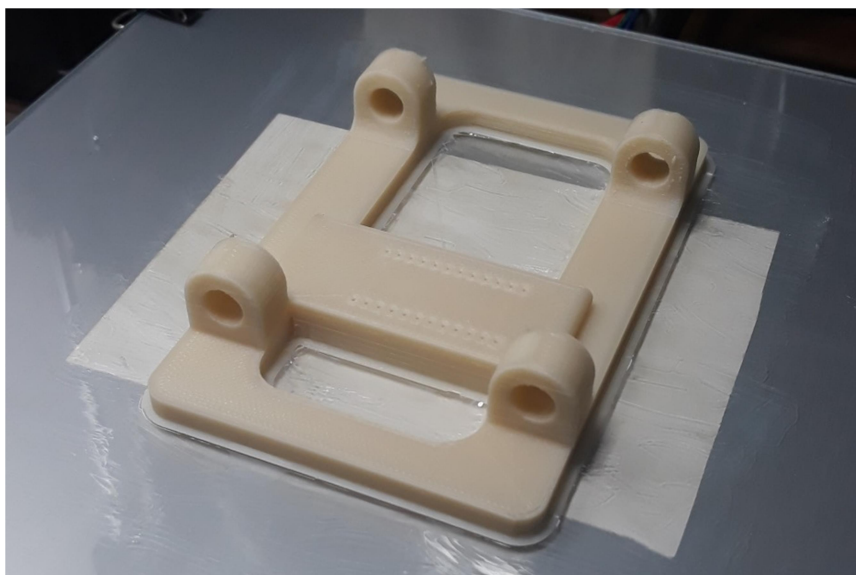


Figura 26: Suporte impresso em 3D
Fonte: O autor (2025).

Após a instalação do suporte o detector pode ser fixado no dorso inferior da UAM como pode ser observado na figura a seguir.

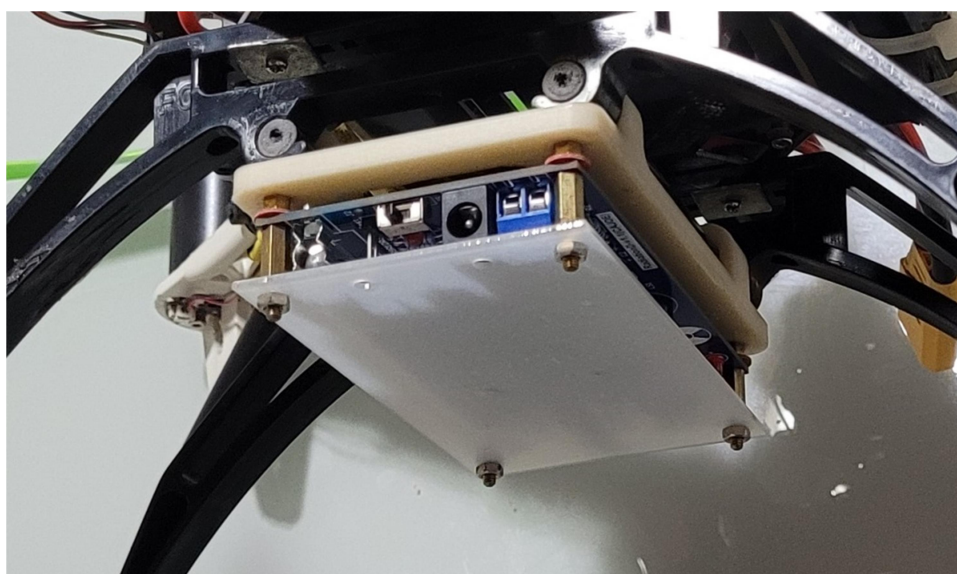


Figura 27: Suporte com detector instalado na UAM.
Fonte: O autor (2025).

5.2.7.2 Placa Arduino Pro Micro

Para possibilitar o processamento, o tratamento e posterior envio à placa controladora de voo (APM) das informações fornecidas pelo detector de radiação, foi incorporada ao detector uma placa Arduino Pro Micro. Esta placa monitora as detecções de radiação, armazena e converte em informações de Dose e de CPM que serão transmitidas quando forem solicitadas pela placa controladora.

A corporação Arduino projeta, fabrica e suporta dispositivos eletrônicos e software, permitindo que pessoas de todo o mundo acessem facilmente tecnologias avançadas que interagem com o mundo físico. Segundo seus idealizadores, os produtos são diretos, simples e poderosos, prontos para satisfazer as necessidades dos usuários, de estudantes a fabricantes e até desenvolvedores profissionais (ARDUINO, 2022).

De acordo com a corporação, a missão do Arduino é possibilitar que qualquer pessoa mude sua vida por meio de eletrônicos acessíveis e tecnologias digitais. As dificuldades existentes na interação entre a eletrônica, design, programação e o resto do mundo, o Arduino foi idealizado para dissolver estas barreiras (ARDUINO, 2022).

A visão utilizada em seu desenvolvimento é a de tornar o Arduino disponível para todos, sejam estudantes, fabricantes ou profissionais, e é por isso que atualmente existem três segmentos para os negócios da corporação. Esses segmentos trabalham em conjunto como um ecossistema com produção compartilhada que inicialmente, foram aplicados em projetos Maker e que evoluiu rapidamente, para soluções educacionais e profissionais (ARDUINO, 2022).

O Arduino Pro Micro é uma pequena plataforma de prototipagem baseada no microcontrolador ATmega32U4, criada para uso em pequenos projetos eletrônicos, permitindo ainda instalação fácil em protoboards e ocupando mínimo espaço (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021).

Ele conta com 12 pinos de entrada digitais, entre os quais 5 podem ser utilizados como saídas PWM e 4 entradas analógicas. Diferentemente de outras versões, o Arduino Pro Micro já possui conector USB integrado, trabalhando a 16MHz e 5V, sua funcionalidade lembra muito seus irmãos maiores, entretanto em tamanho bem menor. Internamente o Arduino Pro Micro possui um regulador de tensão, permitindo uma tensão de alimentação de até 12 VDC (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021).

O código para tratamento das informações do detector de radiação utilizado na placa Arduino Pro Micro é apresentado no ANEXO A.

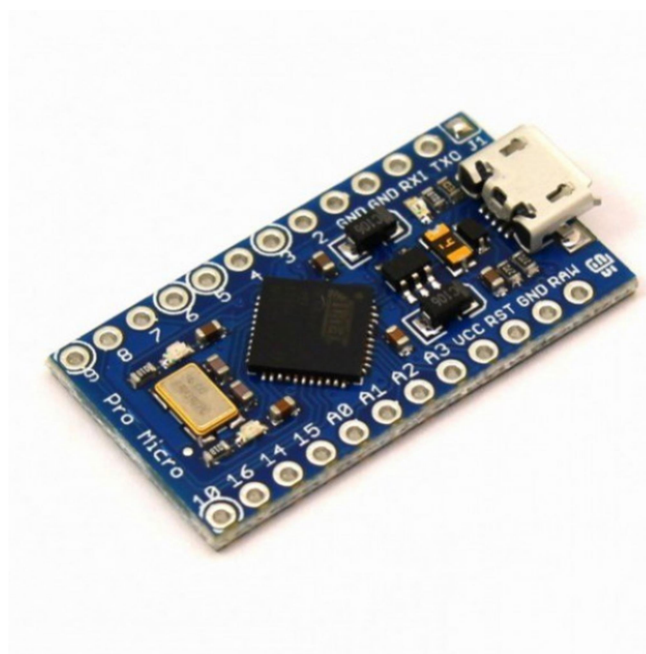


Figura 28: Arduino Pro Micro
Fonte: (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021)

5.2.8 Câmera de vídeo Runcam Eagle 2 Pro

A RunCam Eagle 2 Pro é uma câmera FPV altamente avançada e o mais recente em uma linha nova de produtos da Runcam. A alta resolução, cores vibrantes, OSD integrado e muitos outros recursos a tornam uma câmera FPV de destaque. A RunCam Eagle 2 Pro tem uma série de novos recursos, incluindo OSD para exibir a tensão da bateria, cronômetro e nome do piloto, proporções de imagem 4:3 e 16:9 selecionáveis, microfone integrado para quem deseja gravar áudio em FPV e 3 gramas mais leve que a versão anterior (15g vs 18g) (HOBBYKING-B, 2021).

Algumas das características desta câmera são alta qualidade de imagem com sensor CMOS de 28,575 mm (1 1/8 polegadas), WDR Global, a proporção de aspecto 16:9 4:3, NTSC / PAL selecionáveis via menu OSD, OSD e MIC integrados para corridas FPV imersivas, suporta tensões de entrada de 5 à 36V para multirotores pequenos ou grandes (HOBBYKING-B, 2021).

Suas especificações incluem: resolução horizontal de 800 TVLs, lente de 170 graus FOV 2,1 mm a 16:9 e 140 graus 2,5 mm a 4:3, relação de aspecto 16:9 ou 4:3 comutável via menu OSD, sistema de sinal NTSC / PAL comutável via menu OSD, OSD integrado,

microfone integrado, velocidade automática do obturador eletrônico, iluminação mínima de 0,01 lux, WDR Global, modo diurno / noturno automático, tensão de alimentação de 5 a 36 V DC, corrente de trabalho de 90 mA à 12V e 200 mA à 5V, material do invólucro em plástico ABS (HOBBYKING-B, 2021).



Figura 29: RunCam Eagle 2 Pro.
Fonte: (HOBBYKING-B, 2021)

5.2.9 Sistema On Screen Display (OSD)

Outro recurso presente na UAM é um sistema que insere informações de telemetria no sinal de vídeo produzido pela câmera que resulta na projeção destas informações no vídeo transmitido pela UAM. Esse recurso é denominado On Screen Display e permite ao operador monitorar as informações de telemetria do sistema enquanto observa os vídeos da UAM.



Figura 30: Imagem do OSD SAMER
Fonte: O autor (2025).

O dispositivo de hardware utilizado foi o Mini OSD baseado no microcontrolador Atmega328P fabricado pela Atmel que recebe as informações de telemetria da placa APM através da porta FTDI e opera em conjunto com o CI MAX7456-EUI para produzir os caracteres monocromáticos. O conjunto opera com uma tensão de 5Vdc na comunicação FTDI e 12Vdc na conexão de vídeo (ALIEXPRESS-E, 2022).



Figura 31: Mini OSD
Fonte: (ALIEXPRESS-E, 2022).

Para a configuração do dispositivo OSD foi utilizado o software MWOSD CONFIGURATOR.

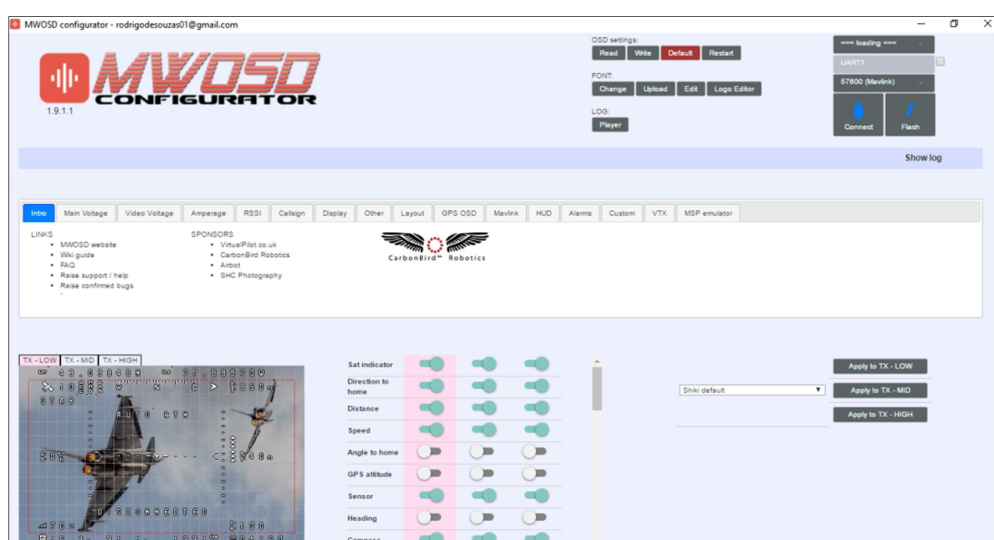


Figura 32: MWOSD CONFIGURATOR
Fonte: O autor (2025).

5.2.10 Sistema de transmissão de vídeo TS832

Para possibilitar a transmissão dos vídeos produzidos a bordo da UAM, foi incorporado na unidade um sistema de transmissão de vídeo composto por um transmissor (TS832) fabricado pela empresa Eachine.

Esse sistema proporciona um link de transmissão de vídeo dedicado e unidirecional na frequência de 5,8 GHz. A frequência de operação pode variar de 5362 MHz até 5865 MHz o que possibilita a divisão desta banda de frequência em até 48 canais diferentes permitindo a operação simultânea com outros sistemas de transmissão RF na mesma frequência (BANGOOD, 2022).

O transmissor TS832 opera com tensões de 7,4 a 16 Volts, emprega uma potência de transmissão de 600 mW possibilitando transmissões em distâncias de até 5 Km em áreas abertas, possui uma largura de banda de vídeo de 8m, transmite vídeos nos formatos NTSC ou PAL com seleção automática, pesa 22 g e possui um conector para antena no padrão RP-SMA (BANGOOD, 2022).



Figura 33: Transmissor Eachine TS832
Fonte: (BANGOOD, 2022).

Para melhorar a transmissão foi acoplada ao módulo transmissor uma antena circular polarizada de 13 dB modelo spiroNET.

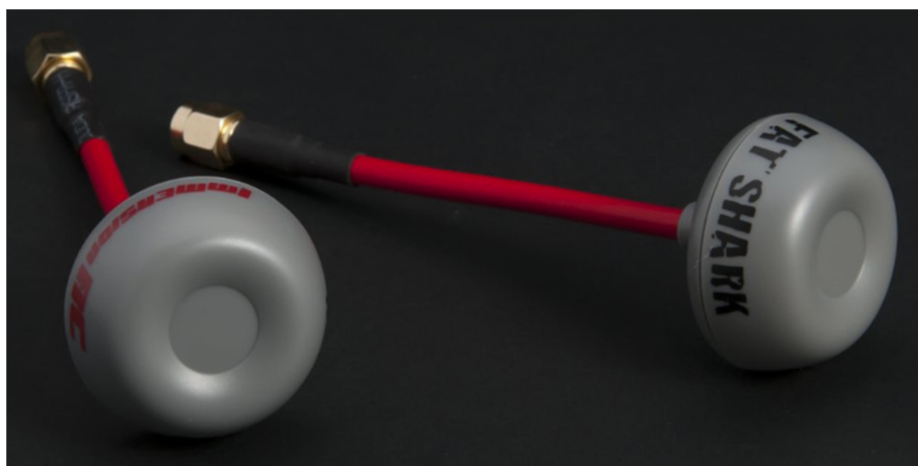


Figura 34: Antena spiroNET
Fonte: (IMMERSIONRC, 2022)

5.3 DESENVOLVIMENTO DA ESTAÇÃO DE OPERAÇÃO E CONTROLE (EOC)

A Estação de Operação e Controle é composta pelos subsistemas descritos a seguir.

5.3.1 Subsistema de transmissão de RF para controle remoto

O subsistema de transmissão de RF é responsável por transmitir os dados de controle através de um link de controle contínuo, estável e seguro entre a EOC e a UAM. É formado pelo sistema de rádio controle e pelo módulo transmissor de RF.

5.3.1.1 Transmissor de rádio Turnigy

A Unidade de Operação e Controle do sistema SAMER foi concebida com objetivo de proporcionar um sistema de controle e operação seguro e portátil. Estas características estão presentes no sistema composto pelo rádio transmissor Turnigy 9X em conjunto com o módulo transmissor de RF da DJT da Fr Sky.

A portabilidade do sistema é conferido pelo rádio Turnigy 9X que produz pulsos de controle em 9 canais diferentes que podem ser fornecidos no padrão PPM ou PWM

selecionáveis através do software do rádio (HOBBYKING-C, 2022). Este sinal serial produzido pelo rádio é enviado ao módulo transmissor DJT.



Figura 35: Rádio Turnigy 9X
Fonte: (HOBBYKING-C, 2022)

5.3.1.2 Módulo transmissor Fr Sky DJT

O módulo transmissor de RF DJT produzido pela FrSky opera na frequência de 2.4 GHz e utiliza a tecnologia ACCST da própria FrSky. A Tecnologia Avançada de Mudança de Canal Contínuo (ACCST) muda 80 canais cerca de cem vezes por segundo na banda de 2.4 GHz o que resulta numa grande robustez do enlace RF de controle. O módulo opera com tensões de 6,0 a 13,0 Vdc, possui uma potência de 60 mW, uma resolução de 11 Bits e um alcance de 1,5 Km a 2,5 Km (HOBBYKING-D, 2022).



Figura 36: Módulo transmissor DJT
Fonte: (HOBBYKING-D, 2022)

5.3.2 Subsistema de visão em primeira pessoa

O subsistema de visão em primeira pessoa é responsável por possibilitar ao operador da EOC visualizar as imagens captadas pelo sistema de aquisição de vídeo da UAM combinadas com as informações de telemetria do sistema, apresentando estas informações diante dos olhos do operador proporcionando uma melhoria da consciência situacional do cenário de operação.

O sistema é composto por um óculos de FPV (First Person View) que possibilita, ao operador, a visualização do local de operação e das informações de telemetria da UAM de forma remota e simultânea. Esse sistema é composto por um óculos com receptor de sinais de vídeo que projeta as imagens recebidas diretamente em frente aos olhos do operador (ARDUPILOT-C, 2016).

O óculos FPV utilizado é do modelo EV800DM da Eachine que faz a recepção de até 40 canais na frequência de 5.8 GHz. O óculos possui um DVR que pode armazenar vídeos com resolução de até 720 x 576 pixels, possui também ajuste da distância focal e uma tela LCD de exibição HD de 3” com resolução de exibição de 900 x 600 pixels (EACHINE, 2022).

O óculos possui uma bateria interna de 2000 mAh mas pode operar com bateria externa de 2S ou 3S para aumentar a autonomia do conjunto. O sistema pesa 320 g e utiliza duas antenas, uma linear e outra omni direcional para melhorar a recepção do sinal de vídeo (EACHINE, 2022).



Figura 37: Óculos FPV EV800DM
Fonte: (EACHINE, 2022)

5.4 DESENVOLVIMENTO DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO EM SOLO (EMS)

A Estação de Monitoramento em Solo é composta pelos subsistemas descritos a seguir.

5.4.1 Subsistema de comunicação de dados

O subsistema de comunicação de dados é responsável por estabelecer um link bidirecional de dados possibilitando a transferência de dados entre a EMS e a UAM. É composto pela Telemetria 3DR já descrita na seção 5.2.6 deste trabalho. A Telemetria 3DR possui dois módulos de comunicação dos quais, um fica conectado á UAM e o outro é conectado á EMS.

5.4.2 Subsistema de recepção de sinais de vídeo

O subsistema de recepção de sinais de vídeo é responsável por receber os sinais de vídeo transmitidos pela UAM e fornece-los á EMS.

Para possibilitar a visualização e o monitoramento dos vídeos produzidos a bordo da UAM, foi incorporado na EMS um sistema de recepção de vídeo composto por um receptor (RC832) fabricado pela empresa Eachine.

O receptor RC832 opera com uma tensão de 12 Vdc e uma corrente de até 200 mA, possui uma impedância de antena de 50 Ohms e uma impedância de vídeo de 75 Ohms, transmite vídeos nos formatos NTSC ou PAL com seleção automática, pesa 85 g e possui um conector para antena no padrão RP-SMA 9 (BANGOOD, 2022).



Figura 38: Receptor Eachine RC832
Fonte: (BANGOOD, 2022).

5.4.3 Subsistema de Interface Homem Máquina (IHM)

O subsistema de IHM é responsável por reunir e apresentar de forma amigável e objetiva as informações recebidas da UAM. Também é responsável por possibilitar o envio de comandos da EMS para a UAM. É composto pelo software Mission Planner que apresenta estas informações na tela de um computador portátil (notebook) possibilitando uma rápida identificação dos parâmetros de interesse para o monitoramento da operação da UAM.

O software Mission Planner é um software gratuito de código aberto desenvolvido por Michael Osborne no âmbito do projeto Ardupilot para utilização em sistemas operacionais Windows (ARDUPILOT-A, 2020).

O Mission Planner possui suporte para uma variedade de veículos, desde aviões até veículos aquáticos e também antenas de rastreamento. Possibilita o planejamento de missões autônomas e o acompanhamento de execução destas missões. O planejamento destas missões é facilitado devido à utilização de mapas como o Google Maps dentre outros (ARDUPILOT-A, 2020).

O software possibilita o monitoramento dos dados de telemetria do veículo, possibilita também a aquisição e análise de arquivos de log dos parâmetros dos veículos. Possui também interface de hardware in loop para simulação de voos e de missões no computador (ARDUPILOT-A, 2020).



Figura 39: Software Mission Planner

Fonte: (ARDUPILOT-A, 2020)

5.5 SOFTWARES MODIFICADOS PARA O ESCOPO DO SISTEMA

Para a implementação do sistema SAMER foi necessária à incorporação das novas variáveis geradas pelo sistema (CPM e Dose) e a inserção de novas capacidades nos softwares nativos dos sistemas utilizados na composição do sistema SAMER.

Para implementação na UAM foi criado um código fonte personalizado para ser executado na placa controladora de voo APM 2.6. Este código fonte recebeu o nome de ArduCopter_Harpia situado numa pasta de mesmo nome. O novo código fonte possui alterações nos arquivos GCS_Mavlink para possibilitar a correta transmissão das variáveis através do protocolo MAVLink. Possui também alterações no arquivo switches para possibilitar o envio do comando de registro das radiações para a EMS.

Foi criada uma nova biblioteca denominada AP_SensorRadI2C adicionada na pasta libraries do código fonte, esta biblioteca trata da requisição e do recebimento das variáveis do detector de radiação através do barramento I2C e do correto armazenamento destas novas variáveis denominadas CPM e Dose.

No firmware executado no dispositivo OSD foram implementadas alterações e incluídas novas linhas no código fonte denominado MW_OSD e situado numa pasta de mesmo nome para criação de um novo símbolo para representação da Dose e para

apresentação desta informação na máscara produzida pelo sistema OSD. Abaixo é apresentada uma imagem com destaque na modificação implementada pelo SAMER.



Figura 40: Imagem OSD personalizada.

Fonte: O autor (2025).

Para execução na EM foram implementadas diversas modificações no código fonte do software Mission Planner, em seguida citaremos algumas destas modificações.

Implementação de rotina para apresentação das novas variáveis (CPM e Dose) juntamente com as demais variáveis do veículo no campo de visualização das variáveis no software. Esta modificação é demonstrada na figura a seguir.



Figura 41: Variáveis do SAMER no software Mission Planner.

Fonte: O autor (2025).

Implementação de rotinas de registro ou de retirada de arquivos de coleção de pontos de radiação. Implementação de rotina para limpeza dos pontos carregados de forma coletiva ou individual dos pontos de radiação. Implementação de rotina para possibilitar a configuração da dose de referência para registro do marcador de cor diferente para doses de maior relevância. As opções incluídas pelo Menu SAMER são apresentadas na figura a seguir.

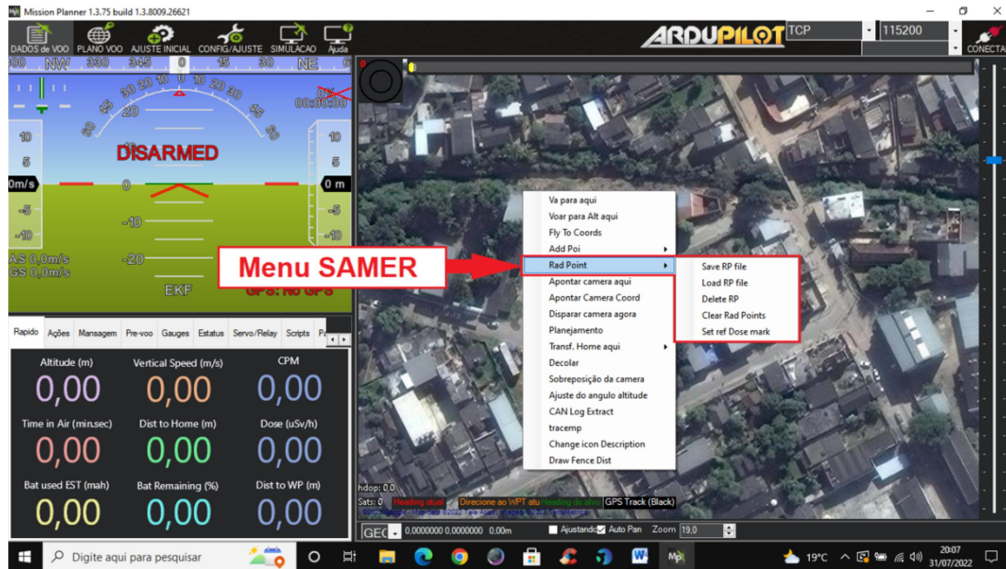


Figura 42: Opções do Menu do SAMER.
Fonte: O autor (2025).

Implementação de rotina para registro dos pontos de radiação identificados pela UAM e demarcação dos pontos no mapa com as informações da altitude e da dose registrada com variação da cor do marcador de acordo com a intensidade da radiação registrada. Esta funcionalidade é demonstrada na figura a seguir.



Figura 43: Registro dos pontos de radiação.
Fonte: O autor (2025).

5.6 CUSTOS DO PROJETO

Abaixo a Tabela 02 apresenta os principais custos para a aquisição das partes componentes do SAMER.

Tabela 02: Custos do SAMER.

Descrição	Quant.	Custo unitário	Custo parcial
Antena omini direcional	01	R\$ 68,10	R\$ 68,10
Bateria lipo 4S 7500 mAh	02	R\$ 319,78	R\$ 639,56
Câmera de vídeo Run Cam Eagle 2 Pro	01	R\$ 308,34	R\$ 308,34
ESC Brushless de 40A	04	R\$ 94,36	R\$ 377,44
Frame F450	01	R\$ 106,36	R\$ 106,36
Hélices perfil Clarck 9047	04	R\$ 16,36	R\$ 65,46
Módulo de GPS Ublox MN8	01	R\$ 138,27	R\$ 138,27
Motores D2836-8 1100 Kv	04	R\$ 90,99	R\$ 363,96
Placa Arduino Pro Micro	01	R\$ 87,47	R\$ 87,47
Placa controladora de voo APM 2.6	01	R\$ 339,32	R\$ 339,32
Receptor de rádio Fr Sky V8FR II	01	R\$ 120,81	R\$ 120,81
Detector de radiação RadiationD-v1.1(CAJOE)	01	R\$ 185,67	R\$ 185,67
Sistema de transmissão e recepção de vídeo TS832/RC832	01	R\$ 168,00	R\$ 168,00
Sistema On Sren Display (OSD)	01	R\$ 64,40	R\$ 64,40
Sistema de Visão em Primeira Pessoa (FPV)	01	R\$ 665,57	R\$ 665,57
Software Mission Planner	01	R\$ 00,0	R\$ 00,0
Software MWOSD	01	R\$ 12,63	R\$ 12,63
Telemetria 3DR	01	R\$ 461,50	R\$ 461,50
Transmissor de rádio Turnigy com módulo Fr Sky DJT	01	R\$ 578,01	R\$ 578,01
Trem de pouso para F450	01	R\$ 76,06	R\$ 76,06
Custo Total:			R\$ 4826,93

Fonte: O autor (2025).

6 TESTES DO PROTÓTIPO E RESULTADOS

Neste capítulo serão descritos alguns testes de funcionamento realizados com o sistema SAMER.

6.1 TESTE DE ESTABILIDADE.

Para verificar a eficiência do sistema de controle automático de estabilidade e de posicionamento do SAMER foi realizado um teste onde o objetivo é que o sistema seja capaz de manter a UAM em voo pairado, nivelado com a manutenção da altitude e do posicionamento da unidade de forma automática.

Para realizar esta verificação o operador da UAM efetuou uma decolagem em modo manual (STABILIZE) realizando uma ascensão até a altitude determinada para o teste (6 metros), após alcançar a altitude de teste o operador modificou o modo de voo para posicionamento fixo automático (POSITION HOLD).

Após a troca do modo de voo, o operador parou de manipular os controles na EOC para verificar a eficiência do sistema que efetuou o controle automático da UAM mantendo a posição, a altitude e o nivelamento durante um voo pairado. A Figura 44 exibe uma fotografia tirada durante este teste.



Figura 44: Teste de estabilidade.
Fonte: O autor (2025).

6.2 TESTE DE AUTONOMIA.

Para verificar a autonomia da UAM foi elaborado um teste com o objetivo de identificar a duração da bateria do sistema na realização de um voo em modo pairado (POSHOLD).

Para realizar o teste o operador efetuou uma decolagem em modo de voo manual (STABILIZE) realizando uma ascensão até a altitude de 6 metros, quando efetuou a troca do modo de voo para altitude fixa (ALTHOLD). Na sequência o operador alterou o modo de voo para posição fixa (POSHOLD) e ficou monitorando os parâmetros do voo sem interferir nos controles.

O operador fica monitorando o voo da UAM até que a bateria alcance o limite mínimo de carga para uma operação segura, quando o sistema alerta que este limite foi atingido o operador altera o modo de voo para manual (STABILIZE) e efetua o pouso da unidade. O período de tempo decorrido desde a decolagem até o pouso da UAM determina a autonomia de voo que foi de 11m16s.



Figura 45: Registro do tempo de voo da UAM
Fonte: O autor (2025).

6.3 SOBREVOO TESTE PARA DETECÇÃO DE EMISSÕES RADIOATIVAS.

Tomando como base os recursos disponibilizados pelo sistema, foi elaborada uma abordagem para a obtenção das informações do perfil das taxas de dose de determinada área. Esta abordagem completa consiste na realização de dois sobrevoos, em etapas diferentes, e com configurações diferentes sobre a mesma área determinada. O primeiro sobrevoo possui características mais dinâmicas com o objetivo de realizar uma varredura numa área de maior extensão dentro do local de busca e o segundo sobrevoo possui características mais específicas para a obtenção de uma maior precisão na leitura das taxas de dose da região de verificação.

No primeiro sobrevoo o sistema realiza passagens sobre os pontos de varredura com velocidade constante sem realizar paradas, o que permite verificar as taxas de dose numa grande extensão da área examinada, porém, resulta numa baixa precisão na determinação das taxas de dose de cada ponto de coleta devido ao pouco tempo que permanece sobre cada ponto. Apesar da redução na precisão da leitura das taxas de dose, é possível identificar a diferença entre as radiações de Background (Bg) e a radiação proveniente de fontes com maior atividade.

Essa varredura realizada no primeiro sobrevoo identifica as regiões com maior incidência de emissões radioativas, regiões essas que são verificadas no segundo sobrevoo onde o sistema realiza paradas sobre cada ponto a ser verificado, pelo tempo necessário para que o detector realize a medida da taxa de dose com uma maior acurácia.

Este trabalho de dissertação foca apenas no primeiro sobrevoo, deixando o segundo sobrevoo para extensão futura. Assim sendo, nesta seção são apresentados resultados relativos ao primeiro sobrevoo proposto nesta abordagem que vamos denominar de sobrevoo de varredura.

O sobrevoo de varredura foi realizado sobre uma área disponibilizada pelo Batalhão Central de Manutenção e Suprimento (BCMS), onde foi posicionada uma fonte radioativa de Césio 137 (Cs_{137}) disponibilizada pelo Centro de Tecnologia do Exército (CTEx), ambas as instituições integrantes do exército brasileiro e localizadas no Rio de Janeiro. A fonte estava acondicionada num invólucro colimador blindado com uma janela de exposição controlada, essa fonte foi posicionada na área de pesquisa com a janela de exposição direcionada

verticalmente para cima que posteriormente foi aberta. A fonte de Césio 137 utilizada foi produzida em 25/01/1989, apresentava uma atividade de $\alpha_0 = 1,365 \times 10^{-1}$ Ci, e uma meia vida de $T_{1/2vida} = 1,09758 \times 10^4$ dias. Utilizando a equação da determinação da meia vida conseguimos encontrar o valor da constante de desintegração do Cs_{137} ($\lambda_{Cs_{137}}$). A equação da meia-vida (1) é apresentada a seguir.

$$T_{1/2vida} = \frac{\ln(2)}{\lambda_{Cs_{137}}} \quad (1)$$

Realizando os cálculos descritos na equação 1, é possível determinar o valor da constante de desintegração do Cs_{137} como $\lambda_{Cs_{137}} = 63,1523 \times 10^{-6}/\text{dia}$. Em seguida utilizamos a equação da atividade radioativa para determinar a atividade da fonte no dia de realização do sobrevoo que foi na data de 5/12/2023, determinando um tempo de 12550 dias decorridos após a verificação da atividade inicial da fonte (25/01/1989). A equação para a determinação da atividade (2) é apresentada a seguir.

$$\alpha_{(5/12/2023)} = \alpha_0 e^{-\lambda_{Cs_{137}} t} \quad (2)$$

Realizando os cálculos descritos na equação da atividade radioativa (2) é possível determinar o valor da atividade da fonte de Cs_{137} no dia do sobrevoo como $\alpha_{(5/12/2023)} = 6,179134 \times 10^{-2}$ Ci que convertido para kBq apresenta o valor $\alpha_{(5/12/2023)} = 2,2862 \times 10^6$ kBq

Após a determinação da atividade da fonte radioativa na data do sobrevoo, é possível encontrar a taxa de dose efetiva prevista a uma distância de 5 metros da fonte, essa será à distância (altitude) utilizada na varredura realizada na área de pesquisa. Para encontrar a taxa de dose efetiva (\dot{E}) será aplicada a equação a seguir (3).

$$\dot{E} = \frac{F_{cp} \cdot A}{d^2} \quad (3)$$

Realizando os cálculos descritos na equação da taxa efetiva de dose (3) e considerando o fator de ponderação do Cs_{137} $F_{cp}(Cs_{137}) = 6,2 \times 10^{-8} \text{ mSv.m}^2 / \text{h.kBq}$, o valor da taxa de dose efetiva previsto a 5 metros da fonte é determinado em $\dot{E} = 5,6697 \times 10^{-3} \text{ mSv/h}$ o que corresponde a $\dot{E} = 5,669 \text{ } \mu\text{Sv/h}$.

Após a determinação da área de pesquisa, foi elaborado um plano de voo com uma rota específica de varredura que posteriormente foi executado de forma automática. A área de varredura bem como seu respectivo plano de voo são apresentados na Figura 46.

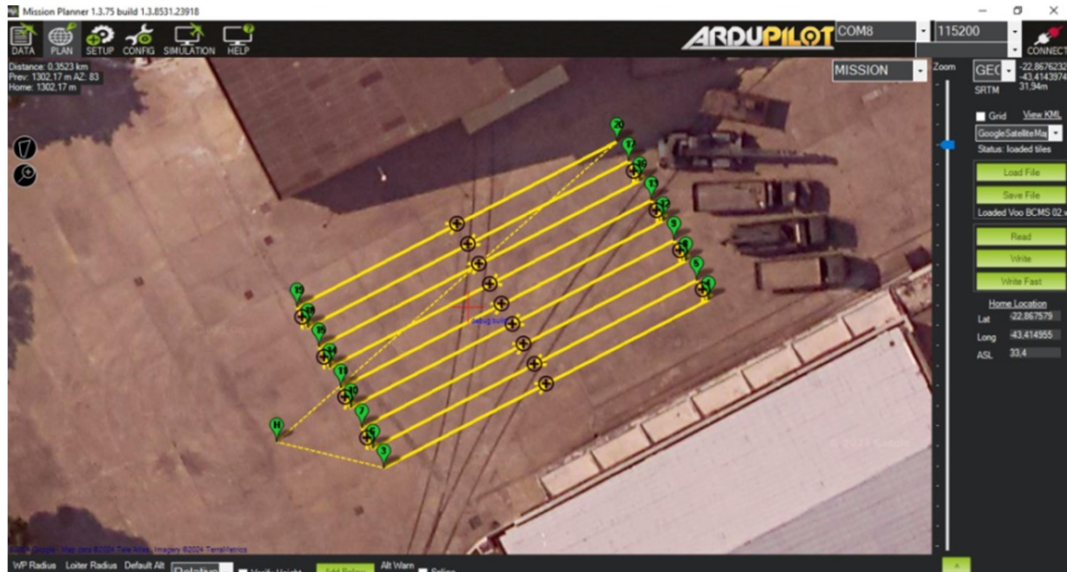


Figura 46: Área delimitada e respectivo plano de voo.
Fonte: O autor (2025).

O voo planejado teve uma duração de 4m01s e ocorreu sem intercorrências. Através da varredura realizada, o sistema gerou um levantamento das taxas de dose na área de interesse e identificou a localização destas taxas através de pontos marcados no mapa. Os pontos identificados são apresentados na Figura 47.

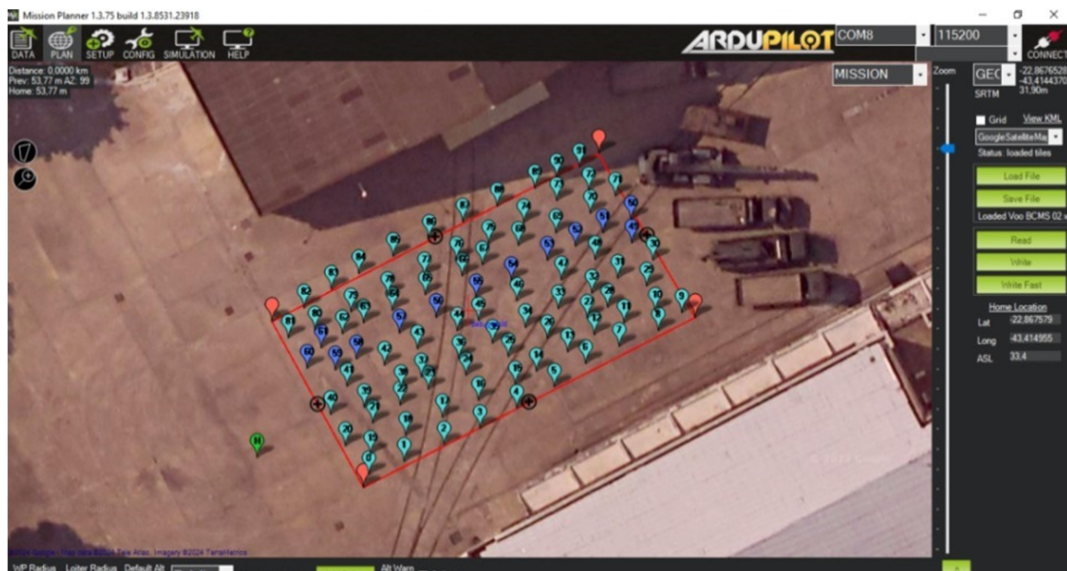


Figura 47: Taxas de dose e suas respectivas localizações no mapa.
Fonte: O autor (2025).

O sistema também gerou um arquivo do tipo texto com uma lista dos 90 pontos registrados e suas respectivas localizações, alturas e taxas de dose. Este arquivo serviu de base para a confecção da Tabela 03 que é apresentada a seguir.

Tabela 03: Taxas de dose e suas respectivas localizações.

(continua)

Seq.	Latitude	Longitude	Altura (m)	Taxa de dose (μSv/h)
1	-22.8675922	-43.4148597	5.10	0.19
2	-22.8675815	-43.4148290	5.01	0.22
3	-22.8675690	-43.4147952	5.06	0.22
4	-22.8675557	-43.4147643	5.06	0.24
5	-22.8675398	-43.4147328	4.96	0.24
6	-22.8675230	-43.4147008	5.01	0.27
7	-22.8675046	-43.4146737	5.04	0.22
8	-22.8674909	-43.4146446	5.01	0.17
9	-22.8674788	-43.4146114	5.01	0.14
10	-22.8674644	-43.4145912	5.09	0.14
11	-22.8674632	-43.4146142	5.06	0.12
12	-22.8674727	-43.4146411	5.12	0.12
13	-22.8674814	-43.4146661	5.07	0.14
14	-22.8674952	-43.4146891	5.23	0.12
15	-22.8675107	-43.4147162	4.97	0.12
16	-22.8675213	-43.4147343	4.68	0.12
17	-22.8675338	-43.4147654	4.71	0.19
18	-22.8675469	-43.4147963	4.81	0.22
19	-22.8675613	-43.4148276	4.94	0.27
20	-22.8675763	-43.4148583	4.98	0.29
21	-22.8675696	-43.4148793	5.09	0.22
22	-22.8675513	-43.4148558	5.12	0.29
23	-22.8675376	-43.4148326	5.04	0.34
24	-22.8675252	-43.4148084	5.02	0.34
25	-22.8675141	-43.4147764	5.05	0.29
26	-22.8674988	-43.4147403	5.05	0.27
27	-22.8674845	-43.4147067	5.05	0.27
28	-22.8674690	-43.4146726	5.04	0.27
29	-22.8674600	-43.4146552	5.00	0.27
30	-22.8674433	-43.4146213	5.00	0.22
31	-22.8674227	-43.4146162	5.02	0.19
32	-22.8674375	-43.4146463	5.03	0.24
33	-22.8674487	-43.4146684	5.05	0.32
34	-22.8674614	-43.4146972	5.05	0.29
35	-22.8674764	-43.4147253	4.95	0.24
36	-22.8674882	-43.4147532	5.01	0.22
37	-22.8675006	-43.4147826	5.09	0.24
38	-22.8675149	-43.4148142	4.92	0.24
39	-22.8675244	-43.4148320	4.94	0.27
40	-22.8675390	-43.4148633	4.89	0.22

Fonte: O autor (2025).

Tabela 03: Taxas de dose e suas respectivas localizações.

(continuação)				
Seq.	Latitude	Longitude	Altura (m)	Taxa de dose ($\mu\text{Sv/h}$)
41	-23.0289981	-43.5806127	5.12	0.39
42	-23.0290306	-43.5806012	5.06	0.39
43	-23.0290159	-43.5805763	5.11	0.09
44	-23.0289905	-43.5805898	5.15	0.39
45	-23.0289626	-43.5805987	5.11	0.49
46	-23.0289338	-43.58061	4.99	0.29
47	-23.0289043	-43.5806155	5.06	0.19
48	-23.0288713	-43.5806263	5.03	0.79
49	-23.0288386	-43.5806377	5.07	0.79
50	-23.0288131	-43.5806473	5.13	0.49
51	-22.8673910	-43.4146350	5.03	0.74
52	-22.8674012	-43.4146589	5.01	0.72
53	-22.8674116	-43.4146827	5.04	0.72
54	-22.8674229	-43.4147065	5.00	1.11
55	-22.8674391	-43.4147371	5.02	1.39
56	-22.8674527	-43.4147674	4.99	1.34
57	-22.8674681	-43.4148019	5.03	1.16
58	-22.8674805	-43.4148331	4.95	0.86
59	-22.8675007	-43.4148703	4.89	0.84
60	-22.8675095	-43.4148883	4.89	0.91
61	-22.8675085	-43.4149124	4.93	0.91
62	-22.8674922	-43.4149004	4.94	0.54
63	-22.8674813	-43.4148822	4.95	0.34
64	-22.8674727	-43.4148643	5.03	0.37
65	-22.8674623	-43.4148392	5.15	0.32
66	-22.8674504	-43.4148109	5.07	0.32
67	-22.8674356	-43.4147795	5.10	0.32
68	-22.8674266	-43.4147624	5.11	0.32
69	-22.8674115	-43.4147313	5.00	0.29
70	-22.8674013	-43.4146990	4.98	0.27
71	-22.8673857	-43.4146693	5.00	0.24
72	-22.8673682	-43.4146708	5.15	0.22
73	-22.8673759	-43.4146985	5.11	0.22
74	-22.8673934	-43.4147263	4.79	0.17
75	-22.8674098	-43.4147567	4.85	0.14
76	-22.8674228	-43.4147843	4.89	0.14
77	-22.8674353	-43.4148118	4.99	0.19
78	-22.8674508	-43.4148434	4.99	0.19
79	-22.8674635	-43.4148746	5.09	0.14

Fonte: O autor (2025).

Tabela 03: Taxas de dose e suas respectivas localizações.

Seq.	Latitude	Longitude	Altura (m)	(conclusão)
				Taxa de dose ($\mu\text{Sv/h}$)
80	-22.8674780	-43.4149057	5.00	0.24
81	-22.8674844	-43.4149285	4.98	0.27
82	-22.8674604	-43.4149152	5.01	0.24
83	-22.8674456	-43.4148913	5.08	0.29
84	-22.8674333	-43.4148678	5.04	0.29
85	-22.8674201	-43.4148383	5.05	0.27
86	-22.8674055	-43.4148075	4.95	0.27
87	-22.8673929	-43.4147789	5.19	0.27
88	-22.8673805	-43.4147492	5.08	0.12
89	-22.8673663	-43.4147172	5.04	0.17
90	-22.8673576	-43.4146982	4.86	0.22

Fonte: O autor (2025).

6.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Utilizando os dados coletados pelo sistema, foi produzida uma grade de quadrantes coloridos (heat map) onde é possível observar as taxas de dose encontradas em cada ponto da área monitorada. É importante considerar a abordagem utilizada para a obtenção dos dados no sobrevoo de varredura que proporcionou um tempo de exposição do detector de 1 segundo à emissão radioativa de cada quadrante, o que resultou num tempo morto na leitura das taxas de dose de 6 segundos devido às características do próprio detector (a janela de tempo para estabilizar a leitura é de aproximadamente 6 segundos, que é o tempo de resposta do detector).

Com base nos dados coletados e na correção aplicada para compensar o retardo na leitura do detector, foi elaborado um heat map que apresenta as taxas de dose nos respectivos quadrantes e o posicionamento da fonte radioativa no terreno. Esse heat map é apresentado na Figura 48.

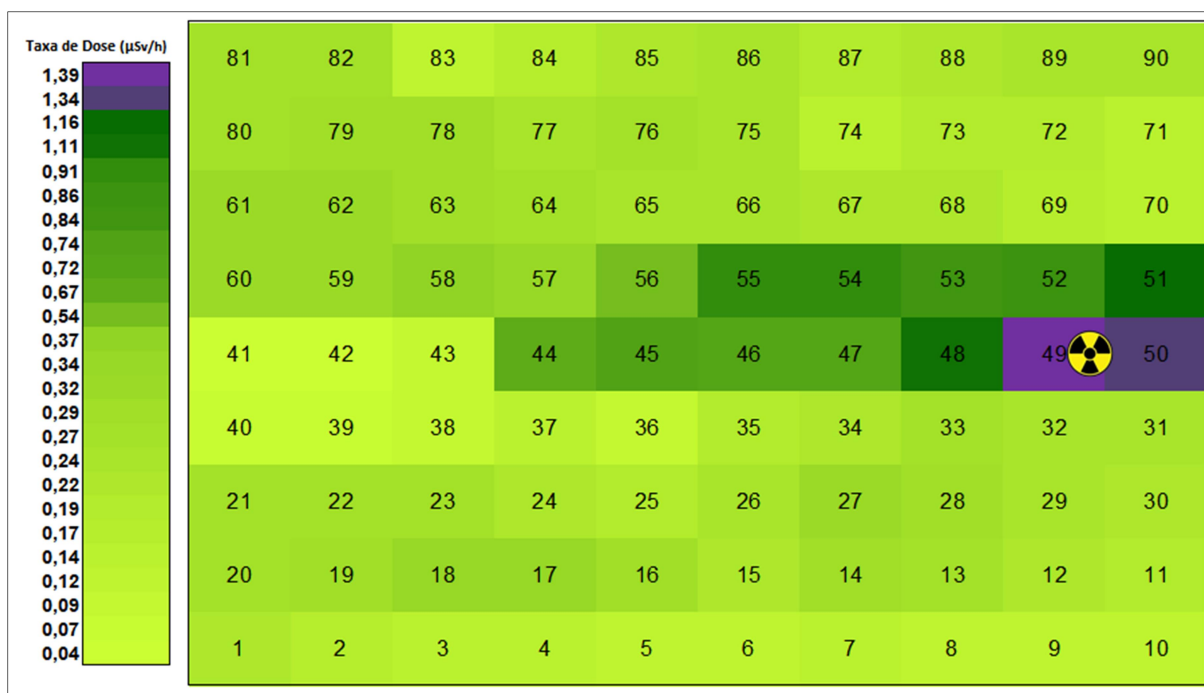


Figura 48: Heat map com posicionamento da fonte.
Fonte: O autor (2025).

O sistema atribui um identificador numérico sequencial a cada ponto registrado e sua respectiva taxa de dose é representada através da cor de cada quadrante. Ao observar o heat map, identifica-se um aumento gradual da taxa de dose a partir do quadrante 44 identificando a incidência da radiação proveniente da fonte no detector da unidade aérea, essa taxa alcança o seu ápice no quadrante 49 e na sequência decresce até alcançar níveis próximos à taxa de dose de Background (Bg) no local.

Essa variação gradual das taxas de dose nos quadrantes citados se deve ao breve tempo de exposição (1s) do detector num mesmo ponto de verificação, o que incluiu os valores de taxa de dose de um quadrante na coletânea de medidas que determina as taxas de dose dos quadrantes seguintes justificando o acréscimo das medidas até o ápice no quadrante 49 e o decréscimo dos valores até o quadrante 56.

Esse curto período de exposição do detector num mesmo ponto de verificação também explica a diferença entre a taxa de dose prevista para a altitude de verificação (5,669 $\mu\text{Sv/h}$) e a taxa de dose registrada pelo sistema (1,39 $\mu\text{Sv/h}$).

Com base nos mesmos dados das taxas de dose nos respectivos quadrantes já compensados, foi possível elaborar um gráfico de superfície 3D que ilustra a variação das taxas de dose encontradas na área monitorada. Esse gráfico é apresentado na Figura 49.

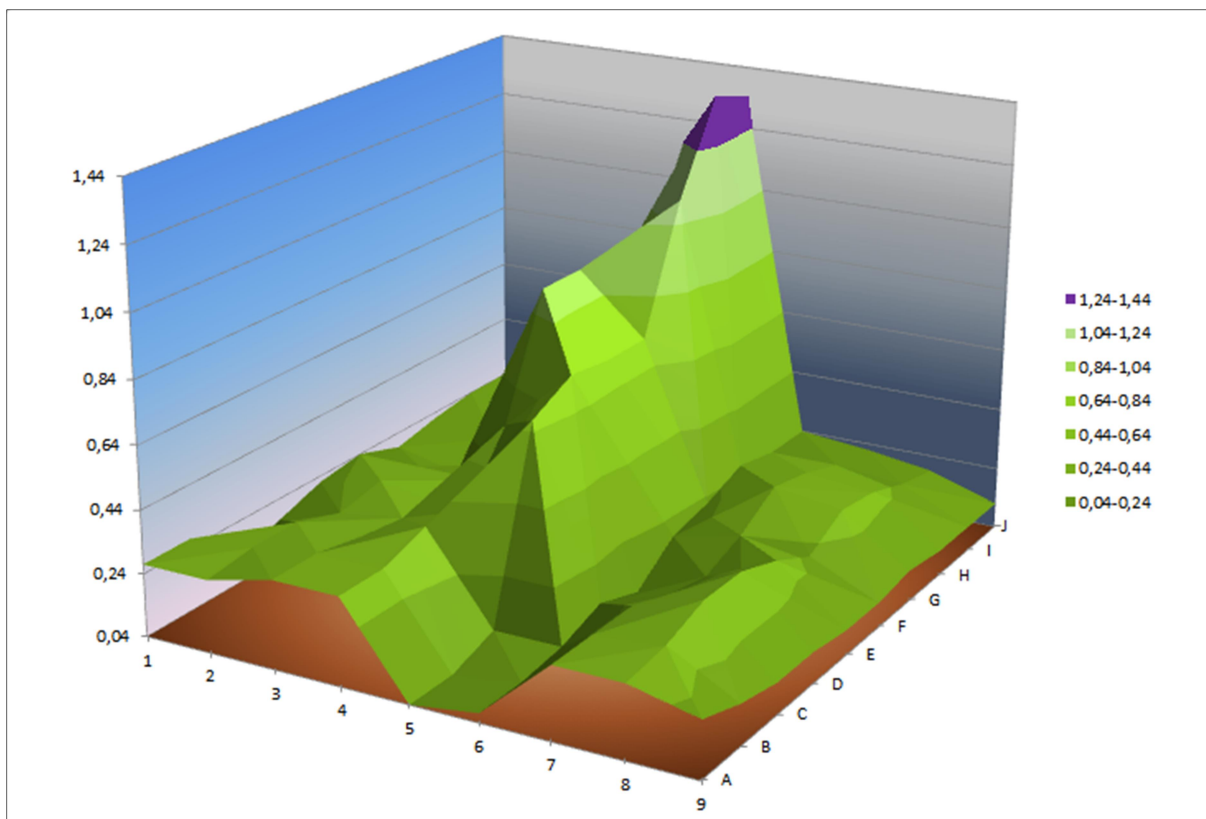


Figura 49: Gráfico de superfície 3D.

Fonte: O autor (2025).

Esses dados servirão de referência para a preparação da segunda etapa da abordagem proposta, com um sobrevoo de verificação sobre a área levantada. Esta segunda etapa com o sobrevoo e análise dos respectivos dados será realizada em futuras fases de aprimoramento e testes operacionais do sistema.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos para o desenvolvimento do sistema nortearam as características constituintes do mesmo, tais características proporcionaram ao sistema a realização de tarefas diversas e relevantes.

As capacidades de voo pairado possibilitou o monitoramento de taxas de dose em determinados pontos de interesse enquanto a capacidade de realizar voos automáticos por rotas pré-programadas possibilitaram a varredura e o levantamento das taxas de dose em determinada área de interesse fornecendo os dados de localização geográfica e de altitude onde foram encontradas as respectivas taxas de dose, estes dados são registrados e salvos num arquivo em formato de texto possibilitando o tratamento posterior dos dados para a consolidação das informações. A produção de arquivos do tipo texto de forma simultânea à coleta dos dados, possibilita a utilização destes dados por programas externos ao sistema, programas estes que podem realizar um tratamento secundário ou utilizar estes dados para avaliar o cenário de onde os dados estão sendo coletados oferecendo suporte à tomada de decisão em sistemas, por exemplo, de gestão de crises.

Outro resultado satisfatório foi no fornecimento de um enlace de controle estável e confiável ao operador possibilitando ajustes sutis para a devida operação do sistema. Outra característica positiva foi à disponibilidade das informações do sistema ao operador, através de recursos visuais o que oferece suporte para as tomadas de decisão necessárias a adequada operação do sistema na obtenção dos dados necessários.

Outra característica funcional do sistema é a capacidade de suporte analítico na interpretação dos dados através da produção de uma sequência de pontos com diferentes colorações baseadas nas intensidades das taxas de dose de cada ponto, o que possibilita identificar, de maneira rápida e simples, as regiões com maior presença de emissões radioativas.

Neste trabalho foi apresentada uma abordagem para a aplicação do sistema que propõe a realização de sobrevoos em duas etapas: i) Um sobrevoos para exploração rápida e contínua de uma ampla região, com o objetivo de identificar sub-regiões com taxas de dose relevantes (regiões de interesse) e ii) O refinamento das medições em regiões de interesse, a fim de obter uma medição adequada das taxas de dose. Apenas a primeira etapa foi apresentada neste trabalho.

O sistema apresentou resultados esperados quando comparados aos objetivos propostos, foram efetuados os sobrevoos nas regiões propostas seguindo as rotas planejadas e

mantendo os parâmetros determinados. A detecção das emissões radioativas foi efetiva apresentando um contraste entre as radiações de fundo e a radiação proveniente da fonte radioativa possibilitando a determinação da sua posição no terreno e a identificação das regiões de interesse para verificação em etapas posteriores.

O estudo dos dados e dos resultados obtidos possibilitará estruturar melhorias para que o sistema registre as informações coletadas de maneira que os dados sejam apresentados dentro de parâmetros mais adequados identificados por estes estudos. Estes estudos e testes necessários para o aperfeiçoamento serão realizados nas próximas fases de aprimoramento do sistema.

8 FUTURAS EXPANSÕES

O desenvolvimento e a operação do sistema SAMER oportunizou a identificação de demandas específicas no contexto de seu desenvolvimento. Através da avaliação destas demandas foi possível elaborar algumas propostas para expansão e consecutiva evolução do sistema. A primeira proposta é de utilizar os dados coletados no primeiro voo para elaborar um segundo voo, com o objetivo de identificar com maior precisão as taxas de dose efetiva na região em torno da posição da fonte radioativa identificada no primeiro voo realizado (voo de varredura).

A segunda proposta é de integrar a EOC à EMS, transformando-as numa Estação de Operação Monitoramento e Controle (EOMC) com uma abordagem mais mercadológica a fim de construir uma estação com características voltadas aos possíveis clientes / operadores do sistema.

A terceira proposta é de possibilitar a interação com um sistema de Inteligência Artificial (IA) que determine os pontos de monitoramento de interesse para que o sistema SAMER monitore estes pontos de forma automática e adaptativa.

A quarta proposta é de capacitar o sistema a operar com várias UAMs utilizando o conceito de “Enxame de Drones” que proporcionará o aumento da eficiência e do alcance na utilização do sistema.

Vale ressaltar que as propostas sugeridas anteriormente são etapas de uma evolução natural do sistema para uma versão superior onde todas as características citadas estariam presentes operando de forma integrada e colaborativa resultando num sistema de alto desempenho e alta capacidade de monitoramento e de acompanhamento do perfil radiométrico de uma determinada área. Tais características possibilitam a implementação deste sistema em outros ambientes de operação tais como operações de vigilância, de controle, operações militares, operações de inteligência dentre outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIEXPRESS-A, “Zangão trem de pouso para f330 f450 f550 rc mwc 4 eixos 6 eixos rc multicopter helicóptero quadcopter multi-rotor”, 2022. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32957813450.html?>>. Acessado em 04/06/2022.

ALIEXPRESS-B, “Hobbywing skywalker 15a 20a 30a 40a 50a 60a 80a esc controlador de velocidade com ubec para rc aviões helicóptero”, 2022. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32963160568.html?>>. Acessado em 04/06/2022.

ALIEXPRESS-C, “1 conjunto 3dr 500mw rádio telemetria 433mhz/915mhz ar e dados à terra transmitir módulo para apm 2.5 2.6 2.8 quadcopter zangão brinquedos”, 2022. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/32954475412.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6bea77a04nIKQa&algo_pvid=63b75bf8-79ab-45b0-9cf1-365e0de24c2c&algo_exp_id=63b75bf8-79ab-45b0-9cf1-365e0de24c2c-25&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2266320893706%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21BRL%21%21436.59%21%21%21%21%21%402101e9d116574623177855098e9d62%2166320893706%21sea>. Acessado em 10/07/2022.

ALIEXPRESS-D, “Diy montado Geiger contadores kit Geiger contador módulo miller tubo gm detector de radiação nuclear com som luz alarme”, 2022. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/4000229395987.html?spm=a2g0s.8937460.0.0.63072e0eowA8QM&gatewayAdapt=glo2bra>>. Acessado em 18/06/2022.

ALIEXPRESS-E, “Minimosd mini osd compatível para crius mavlink-osd v2.0 atmega328p microcontrolador apm2.8 2.6 px4 mwc controlador de voo”, 2022. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005003140199950.html?_randl_currency=BRL&_randl_shipto=BR&src=google&src=google&albch=shopping&acnt=768-202-3196&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&albcpr=17280411561&albag=&trgt=&crea=pt1005003140199950&netw=x&device=c&albpgr=&albpdr=pt1005003140199950&gclid=EAIaIQobChMIx7PO0e3T-AIVE-6RCh0gdgyKEAQYBCABEgJP1vD_BwE&gclsrc=aw.ds&aff_fcid=3cc1cdc9fdf2421788d88df3ecc89a64-1656546788876-07801-

UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=3cc1cdc9fdf2421788d88df3ecc89a64-1656546788876-07801-

UneMJZVf&terminal_id=66baf464f78f4a4295b5f000319ba101&afSmartRedirect=y>.

Acessado em 29/06/2022.

ARARÊ (BLOG), “Empresa deverá aproveitar intervalo na temporada de tempestade para realizar operação”, 2010. Disponível em: <<http://www.lanchaarare.com/blog/?cat=10&paged=12>>. Acessado em: 07/12/2021.

ARDUINO, “About Arduino”, 2022. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/about>>. Acessado em: 05/06/2022.

ARDUPILOT-A, “Docs – ArduPilot Documentation”, 2020. Disponível em: <<https://ardupilot.org/ardupilot/>>. Acessado em: 13/06/2022.

ARDUPILOT-B, “Docs – Appendix – Archived Topics”, 2021. Disponível em: <<https://ardupilot.org/copter/docs/common-apm25-and-26-overview.html#apm-2-6>>. Acessado em: 18/06/2022.

ARDUPILOT-C, “First Person View (FPV)”, 2016. Disponível em: <<http://ardupilot.org/plane/docs/common-fpv-first-person-view.html>>. ArduPilot Dev Team. Acessado em: 07/12/2021.

ARIAS, Anderson, “O que você deve saber sobre Baterias Lipo, o combustível do seu VANT.”, 2016. Disponível em: <<https://blog.droneng.com.br/baterias-lipo/>>. Droneng. Acessado em: 07/06/2025.

BANGGOOD, “Eachine TS832 RC832 Boscam 5,8G 48CH 600 mW FPV Transmissor Receptor Combo AV VTX RX Conjunto 7,4-16V”, 2022. Disponível em: <https://br.banggood.com/Eachine-TS832-Boscam-5_8G-48CH-600mW-7_4-16V-Wireless-Transmitter-W-or-RC832-5_8G-48CH-Wireless-AV-Receiver-for-RC-Drone-p-1079941.html?cur_warehouse=CN>. Acessado em 29/06/2022.

BAÚ DA ELETRÔNICA, “Arduino Pro Micro ATmega32U4 5V + Cabo Micro USB”, 2021. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-pro-micro-atmega32u4-5v.html>>. Acessado em: 05/06/2022.

BYOD, Build Your Own Drone, “DJI F450 FLAME WHEEL QUADCOPTER FRAME”, 2022. Disponível em: <<https://www.buildyourowndrone.co.uk/dji-f450-flame-wheel-quadcopter-frame>>. Acessado em 27/01/2022.

CASTELLI, Ian, “Como funcionam os robôs antibombas?”, 2013. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/robotica/38103-como-funcionam-os-robos-antibombas-.htm>>. Tecmundo. Acessado em: 07/12/2021.

CONNOR, Nick, “O que é o tubo Geiger-Müller - Câmara Geiger – Definição”, 2020. Disponível em: <<https://www.radiation-dosimetry.org/pt-br/o-que-e-o-tubo-geiger-muller-camara-geiger-definicao/>>. Acessado em 18/06/2022.

DATASHEET, Arduino NANO. “User Manual”. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>>. Acessado em 08/12/2021.

EACHINE, “Eachine EV800DM Varifocal 5.8G 40CH Diversity FPV Goggles with HD DVR 3 inch 900*600 Video Headset Build in 2000mAh Battery”, 2022. Disponível em: <https://www.eachine.com/Eachine-EV800DM-Varifocal-5_8G-40CH-Diversity-FPV-Goggles-with-HD-DVR-3-Inch-900+600-Video-Headset-Build-in-2000mAh-Battery-p-1591.html>. Acessado em 03/07/2022.

ELPROCUS, “What is Electronic Speed Control (ESC) & Its Working”, 2022. Disponível em: <<https://www.ELPROCUS.com/electronic-speed-control-esc-working-applications/>>. Acessado em 18/01/2022.

EURE, Kenneth W., “An Application of UAV Attitude Estimation Using a Low-Cost Inertial Navigation System”, 2013. NASA/TM-2013-218144. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20140002398/downloads/20140002398.pdf>>. Acessado em 13/06/2022.

FRSKY, “Home – RECEIVERS – 2.4GHz ACCST – V SERIES – V8FR-II”, 2020. Disponível em: < <https://www.frsky-rc.com/product/v8fr-ii-2/>>. Acessado em: 18/06/2022.

GARNER, Rob, “Hubble Space Telescope”, 2016. Disponível em: <http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/spacecraft/index.html>. National Aeronautics and Space Administration. Acessado em: 07/12/2021.

GARRETT, Filipe, “O que é drone e para que serve? Tecnologia invade o espaço aéreo. ”, 2013. Disponível em: < <https://www.techtudo.com.br/noticias/2013/10/o-que-sao-e-para-que-servem-os-drones-tecnologia-invade-o-espaco-aereo.ghml> >. Techtudo. Acessado em: 07/12/2021.

HOBBYKING-A, “Turnigy D2836 / 8 1100KV Brushless Outrunner Motor”, 2022. Disponível em: <https://hobbyking.com/pt_pt/turnigy-d2836-8-1100kv-brushless-outrunner-motor.html>. Acessado em 05/06/2022.

HOBBYKING-B, “Cameras FPV”, 2021. Disponível em: <https://HOBBYKING.com/en_us/runcam-eagle-2-pro-global-wdr-audio-osd-800tvl-fov-170.html?__store=en_us>. Acessado em 03/01/2022.

HOBBYKING-C, “Turnigy 9X 9Ch Mode 2 Transmitter w/ Module & iA8 Receiver (AFHDS 2A system)”, 2022. Disponível em: <https://hobbyking.com/en_us/turnigy-9x-9ch-mode-2-transmitter-w-module-ia8-receiver-afhds-2a-system.html?__store=en_us&gclid=EAIaIQobChMI8KbI6Nfu-AIViGpvBB0cVwBuEAAYAiAAEgItjfd_BwE&gclid=EAIaIQobChMI8KbI6Nfu-AIViGpvBB0cVwBuEAAYAiAAEgItjfd_BwE>. Acessado em 10/07/2022.

HOBBYKING-D, “FrSky DJT 2.4Ghz Combo Pack for JR w/Telemetry Module & V8FR-II RX”, 2022. Disponível em: <https://hobbyking.com/en_us/frsky-djt-2-4ghz-combo-pack-for-jr-w-telemetry-module-v8fr-ii-rx.html?queryID=1c1d8e3fc1b9609f344ec6dfe74de59&objectID=29738&indexName=hbk_live_products_analytics>. Acessado em 10/07/2022.

IAN, G. R. Shaw, “The Rise of the Predator Empire: Tracing the History of U.S. Drones”, Understanding Empire, (2014). Disponível em: < <https://understandingempire.wordpress.com/2-0-a-brief-history-of-u-s-drones/>>. Acessado em: 07/12/2021.

IMMERSIONRC, “SpiroNET Omni-8.8GHz CP Antenna”, 2022. Disponível em: < <https://www.immersionrc.com/fpv-products/spironet-omni-5-8ghz-cp-antenna/>>. Acessado em 29/006/2022.

INSTITUTO HIDROGRÁFICO, “ROV (Remotely Operated Vechicle)”. Portugal, 2017. Disponível em: < <https://www.hidrografico.pt/info/19> >. Acessado em: 07/12/2021.

MAVLINK, “MAVLink Developer Guide”, 2022. Disponível em: <<https://mavlink.io/en/>>. Acessado em 10/07/2022.

NAGEL, Lauren; BLOUIN, Charles, “What is an Electronic Speed Controller & How Does an ESC Work”, 2023. Disponível em: <<https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/what-is-an-esc-how-does-an-esc-work?srsId=AfmBOopiDADxfAInYauNHyQCS6Qp4ZsG7i33RC-2s70dL3hDSwdQrFpD>>. Tyto Robotics. Acessado em: 07/06/2025.

NASA - National Aeronautics and Space Administration, “About Hubble”. Estados Unidos da América, 2025. Disponível em: <<https://science.nasa.gov/mission/hubble/overview/about-hubble/>>. Acessado em 07/06/2025.

NAUGHTON, Russel, “HARGRAVE-RPAV-REMOTE PILOTED AERIAL VEHICLES- Aviation and Aeromodelling-Interdependent Evolutions and Histories.”, CTIE-Monash University, 2006. Disponível em: < https://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_radioplane.html>. Acessado em 14/01/2025.

PAULA, Victor Magno Gomes, ”BQM-1BR O VANT à jato Brasileiro”, UFJF, 2009. Disponível em: <<https://www.ecsbdefesa.com.br/bqm-1br-o-vant-a-jato-brasileiro/>>. Acessado em: 07/12/2021.

PUSKOV apud MEDEIROS, F.A. “Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão”, 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

U-BLOX, “Product summary NEO-M8 series Versatile u-blox M8 GNSS modules”, 2021. Disponível em: <https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-M8_ProductSummary_UBX-16000345.pdf>. Acessado em 28/05/2022.

VOLTOLINI, Ramon, “Drones terrestres e anfíbios estão sendo criados pela Rússia [Galeria]”, 2014. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/tecnologia-militar/49193-drones-terrestres-e-anfibios-estao-sendo-criados-pela-russia-galeria-.htm>>. Tecmundo. Acessado em: 07/12/2021.

WOLLINGER, Leonardo, ” Baterias de Lítio-Íon: Um guia completo”, 2020. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/baterias-de-litio-ion-um-guia-completo/>>. Acessado em 06/12/2021.

ANEXO A - CÓDIGO PARA TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES DO DETECTOR DE RADIAÇÃO.

//Programa para leitura e tratamento dos dados do detector de radiação "Radiation V1.1 CAJOE" e posterior envio após solicitação da controladora APM 2.6.

//Programa escrito por Rodrigo de Souza, rodrigodesouzas01@gmail.com.

```
#include <Wire.h>           //Biblioteca Wire para utilização das funções I2C.
#include <TimerOne.h>        //Biblioteca do timer do Arduino.
#define SENSOR_RAD_PIN      7      //Pino para leitura do pulso da sensor Geiger.
#define LENGHT_VET          20     //Tamanho do vetor do filtro da média móvel.
#define SENSOR_RAD_I2C_ADRESS 0x22 //Endereço I2C para este sensor.
#define MAX_VALUE_FACTOR    3      //Fator de multiplicação do valor máximo de
referência.
#define STANDBY_RECOMP      3000000 //Período de tempo para recomposição do vetor de
valores.

float cpM = 0;               //Contagens Por Minuto.
float dose = 0;              //Dose em microSv/h.
float cpM_Max = 0;           //Valor máximo no vetor de filtro da média móvel de cpM.
float dose_Max = 0;          //Valor máximo no vetor de filtro da média móvel de dose.
float cpMVet[LENGHT_VET];    //Vetor filtro da média móvel de cpM.
float doseVet[LENGHT_VET];    //Vetor filtro da média móvel de dose.
float cpMSoma = 0;           //Soma dos valores do filtro da média móvel de cpM.
float doseSoma = 0;          //Soma dos valores do filtro da média móvel de dose.
float doseFilterFloat = 0;    //Variável para verificação dos valores produzidos.
uint16_t cpMFilter = 0;       //Valor da cpM após filtro da média móvel.
uint16_t doseFilter = 0;      //Valor da dose após filtro da média móvel.
uint32_t standby_time = 0;    //Registro do intervalo de tempo entre detecções.
uint32_t present_time = 0;    //Registro do valor do timer no ato da detecção.
uint32_t last_time = 0;       //Registro do valor do timer da última contagem.
volatile byte reg_count_flag = false; //Flag de controle do registro de contagens.
volatile byte reg_recomp_flag = false; //Flag de controle da recomposição das contagens.
```

//////////////////////////////// SETUP //////////////////////////////////

```
void setup()
```

```

{
  pinMode(SENSOR_RAD_PIN, INPUT);      //Define o pino de leitura do pulso do sensor como
  entrada.

  Wire.begin(SENSOR_RAD_I2C_ADRESS);    //Inicializa a comunicação I2C com um endereço
  fixo.

  Wire.onRequest(Send_Variables);       //Define a função a ser executada quando for requisitada
  uma mensagem.

  Timer1.initialize(STANDBY_RECOMP);     //Inicializa o temporizador do arduino.

  Timer1.attachInterrupt(Recompose);     //Define a função que será acionada pela interrupção do
  temporizador.

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR_RAD_PIN), Leitura, FALLING); //Define uma
  função a ser executada quando a interrupção for acionada.

  Serial.begin(115200);                  //Comunicação serial para checagem dos dados gerados. Apenas
  na função de teste.

  //Carregando os vetores com valor 0.
  for(byte l=0;l<LENGHT_VET;l=l+1)
  {
    cpMVet[l] = 0;
    doseVet[l] = 0;
  }
}

////////////////////////////////// LOOP //////////////////////////////////////////

void loop()
{
  if(reg_count_flag == true)
  {
    if(reg_recomp_flag == true)
    {
      standby_time = micros() + standby_time; //Recomposição de valores para a ausência de
      contagens.
      reg_recomp_flag = false;
    }
    else

```

```

{
    standby_time = micros() - last_time;    //Determinação do período de tempo entre detecções.
}

last_time = micros();                      //Atualização do último tempo de leitura.

cpM = (60000000/standby_time);             //Cálculo de CPM.

dose = cpM/151;                            //Cálculo de Dose em usV/h para o tubo Geiger GM tube
M4011.

//Deslocamento dos valores nos vetores do filtro da média móvel de CPM e de Dose com
amortização de valores máximos.
for(byte i=0;i<(LENGHT_VET-1);i=i+1)
{
    if(cpMVet[i+1] <= cpM_Max)
        {cpMVet[i] = cpMVet[i+1];}
    else
        {cpMVet[i] = cpM_Max;}

    if(doseVet[i+1] <= dose_Max)
        {doseVet[i] = doseVet[i+1];}
    else
        {doseVet[i] = dose_Max;}
}

//Inserção do valor lido na última posição do vetor com restrição de valor máximo e exclusão de
valor nulo.
if(cpM <= cpM_Max || cpM_Max == 0)
    {cpMVet[(LENGHT_VET-1)] = cpM;}
else
    {cpMVet[(LENGHT_VET-1)] = cpM_Max;}

if(dose <= dose_Max || dose_Max == 0)
    {doseVet[(LENGHT_VET-1)] = dose;}
else
    {doseVet[(LENGHT_VET-1)] = dose_Max;}

```

```

//Soma dos valores do vetor.
for(byte j=0;j<LENGHT_VET;j=j+1)
{
    cpMSoma = cpMSoma + cpMVet[j];
    doseSoma = doseSoma + doseVet[j];
}

//Divisão para encontrar a média dos valores e multiplicação para composição do Buffer de envio.
cpMFilter = (cpMSoma / LENGHT_VET) * 10;
doseFilter = (doseSoma / LENGHT_VET) * 100;

//Atualização do limite máximo dos valores componentes do vetor do filtro da média móvel.
cpM_Max = (cpMSoma / LENGHT_VET) * MAX_VALUE_FACTOR;
dose_Max = (doseSoma / LENGHT_VET) * MAX_VALUE_FACTOR;
doseFilterFloat = (doseSoma / LENGHT_VET);

cpMSoma = 0;
doseSoma = 0;

//Verificação dos dados para transmissão - Função de teste.
Serial.print("doseFilterFloat: ");
Serial.println(doseFilterFloat);

reg_count_flag = false;
}

}

////////////////////////////////// MAIN PROGRAM END //////////////////////////////////

//Função para registro da detecção da partícula no sensor Geiger.
void Leitura()
{
    reg_count_flag = true;
}

```

```

//Função para recomposição do vetor de valores na ausência de contagens.
void Recompose()
{
    reg_count_flag = true;
    reg_recomp_flag = true;
}

//Função para envio dos dados via I2C quando a APM solicitar.
void Send_Variables()
{
    //cpMFilter = 32567; //Teste de envio.
    //doseFilter = 23235; //Teste de envio.
    uint8_t buffByte[4];

    if(cpMFilter > 65535){cpMFilter = 65535;} //Limite do buffer de 16 bits.
    if(doseFilter > 65535){doseFilter = 65535;} //Limite do buffer de 16 bits.

    buffByte[0] = cpMFilter & 255;
    buffByte[1] = (cpMFilter >> 8) & 255;
    buffByte[2] = doseFilter & 255;
    buffByte[3] = (doseFilter >> 8) & 255;

    Wire.write(buffByte, 4); //Envio do buffer com as informações.
}

```