



**Politécnico  
Castelo Branco**

Polytechnic University

# **Protótipo de solução de deteção e dispersão de aves para proteção de colheitas com base em drones autónomos - Parte 3**

## **Projeto I**

Cássia Odeth Serrote Francisco, 20221693

Gonçalo André Salgueiro da Silva, 20220975

### **Orientadores**

João Manuel Leitão Pires Caldeira

Vasco Nuno da Gama de Jesus Soares

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor João Manuel Leitão Pires Caldeira e coorientação do professor Doutor Vasco Nuno da Gama de Jesus Soares, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Janeiro 2025



## **Composição do júri**

Presidente do júri

Doutor, Carlos Manuel de Oliveira Alves

Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Vogais

Doutor, João Manuel Leitão Pires Caldeira

Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Doutora, Mónica Isabel Teixeira da Costa

Professora Adjunta, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco



## **Dedicatória**

### Cássia Francisco:

Dedico este projeto primeiramente à Deus, a minha família: pai, irmãos, sobrinhas e sobretudo a minha querida mãe que sempre me apoiou em todos os sentidos, desde a escolha deste curso e de todos os outros que contribuíram para hoje chegar até aqui.

Ao meu colega Gonçalo, por acreditar em mim e nesta junção para realizarmos este projeto.

Aos meus amigos, por sempre me apoiarem e por me ajudarem em todos os aspetos.

A todos aqueles que, de alguma forma, me apoiaram e acompanharam ao longo do meu percurso escolar.

### Gonçalo Silva:

Dedico este projeto inicialmente à minha colega Cássia Francisco. Conseguimos, em conjunto, acreditar neste projeto e, com esforço mútuo, superar diversos desafios.

Quero também dedicar este trabalho à minha família: pai, mãe, irmão e primos. São a minha rede de suporte e, mesmo estando longe durante a semana, oferecem o vosso apoio incondicional.

A todos aqueles que, de alguma forma, acompanham e me apoiam no meu percurso.



## **Agradecimentos**

O nosso agradecimento vai ao nosso orientador Professor Doutor João Manuel Leitão Pires Caldeira e coorientador Professor Doutor Vasco Nuno da Gama de Jesus Soares pelo apoio, dedicação e orientação ao longo de todo o percurso. A sua disponibilidade, conhecimentos e incentivos foram essenciais para a realização deste projeto.

Gratidão.



## Resumo

Os drones tornaram-se fundamentais na agricultura de precisão, especialmente na proteção de colheitas. Este trabalho analisa soluções baseadas em Veículos Aéreos Não Tripulados (*UAV*), vulgarmente denominados de drones, para deteção e dispersão de aves, integrando tecnologias como Inteligência Artificial (*IA*) e Internet das Coisas (*IoT*). Foi realizada uma revisão sistemática, com base na metodologia *PRISMA*, que selecionou 16 estudos sobre o uso de *UAVs* em proteção de colheitas, controlo de pragas e monitorização de doenças. Os *UAVs* destacam-se pela monitorização em tempo real e maior eficiência, reduzindo perdas económicas e promovendo práticas sustentáveis.

Apesar de desafios como custos operacionais e limitações climáticas, inovações como drones solares e sistemas multifuncionais mostram-se promissoras. Para maximizar o impacto destas tecnologias, são necessárias regulamentações que incentivem a sua adoção sustentável. Este estudo sublinha o potencial dos *UAVs* no avanço da agricultura inteligente.

## Palavras-chave

Veículos aéreos não tripulados (*UAV*), agricultura de precisão, proteção das colheitas, dispersão de aves, *IA* na agricultura, agricultura inteligente, tecnologia de drones, perdas económicas na agricultura.



## **Abstract**

*Drones have become fundamental in precision agriculture, especially in crop protection. This work analyzes solutions based on Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for bird detection and dispersal, integrating technologies such as Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT). A systematic review was carried out, based on the PRISMA methodology, which selected 16 studies on the use of UAVs in crop protection, pest control and disease monitoring. UAVs stand out for their real-time monitoring and greater efficiency, reducing economic losses and promoting sustainable practices.*

*Despite challenges such as operating costs and climate limitations, innovations such as solar drones and multifunctional systems show promise. To maximise the impact of these technologies, regulations are needed to encourage their sustainable adoption. This study underlines the potential of UAVs in advancing smart agriculture.*

## **Keywords**

*Keywords Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Precision Agriculture, Crop Protection, Bird Deterrence, AI in Agriculture, IoT in Agriculture, Smart Agriculture, Drone Technology, Agricultural Economic Losses.*



# Índice geral

1	Introdução.....	1
1.1	Âmbito.....	1
1.2	Definição do Problema.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.4	Organização do Documento.....	3
2	Estado de Arte.....	4
2.1	Metodologia.....	4
2.1.1	Seleção dos estudos.....	4
2.1.2	CrITÉrios de Inclusão e Exclusão.....	5
2.2	Utilização de Drones na Agricultura - Abordagens Utilizadas.....	8
2.3	Desafios Encontrados.....	9
2.4	Oportunidades.....	10
2.5	Análise Crítica dos resultados.....	13
3	Solução proposta.....	16
3.1	Arquitetura.....	16
3.2	Identificação de Requisitos.....	17
3.3	Desenvolvimento.....	18
3.3.1	Aplicabilidade no Projeto.....	19
3.3.2	Materiais Necessários.....	20
3.3.3	Metodologia e Implementação.....	21
4	Testes De Avaliação.....	22
4.1	Cenário 1.....	22
4.2	Cenário 2.....	23
4.3	Cenário 3.....	25
4.4	Cenário 4.....	27
5	Conclusões.....	31
5.1	Desafios e Trabalho futuro.....	31
6	Referências Bibliográficas.....	32



## Índice de figuras

<b>Figura 1-</b> Fluxograma das fases de pesquisa.....	7
<b>Figura 2-</b> Arquitetura da solução proposta.....	17
<b>Figura 3-</b> Imagem do drone Tello .....	19
<b>Figura 4-</b> Cenário 1: Drone antes, durante e depois da aterragem.....	23
<b>Figura 5-</b> Fluxograma do Cenário 1 .....	23
<b>Figura 6-</b> Cenário 2: Drone em diferentes movimentos lineares .....	24
<b>Figura 7-</b> Fluxograma do Cenário 2 .....	25
<b>Figura 8-</b> Cenário 3 - Drone executando rotações de 90º e 180º.....	26
<b>Figura 9-</b> Fluxograma do Cenário 3 .....	27
<b>Figura 10-</b> Cenário 4: Drone desviando de obstáculos ao longo da trajetória.....	28
<b>Figura 11-</b> Fluxograma do Cenário 4.....	29



## Lista de tabelas

<b>Tabela 1</b> -Cronograma de tarefas .....	3
<b>Tabela 2</b> -Tabela de resumo dos trabalhos e projetos considerados estado da arte. .....	10
<b>Tabela 3</b> - Tabela dos Resultados na avaliação .....	29



## Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

*ATTI -Attitude Mode*

*IA- Artificial Intelligence*

*IoT- Internet Of Things*

*IP- Internet Protocol*

*PRISMA- Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

*SDK – Software Development Kit*

*UAV – Unmanned Aerial Vehicle*

*UDP- User Datagram Protocol*



# 1 Introdução

A tecnologia dos drones evoluiu rapidamente, o que lhe permitiu tornar-se num facilitador essencial na agricultura de precisão, abordando muitos desafios relacionados com a proteção de campos agrícolas. A integração de *UAV* (veículos não tripulados) nas práticas agrícolas revolucionou a forma como as colheitas são monitorizadas e protegidas [1]. Este trabalho abrange as soluções mais avançadas para a utilização de *UAVs* na preservação das plantações, detetando e dispersando as aves que comprometem o rendimento [1] [2]. De facto, o potencial dos *UAVs* no aumento da produtividade e sustentabilidade agrícola é imenso, uma vez que podem fornecer monitorização em tempo real, intervenção direcionada e tomadas de decisões baseadas em dados [1].

O aumento da população mundial traduz-se numa maior pressão sobre os sistemas agrícolas para produzir mais alimentos de uma forma sustentável [2]. Os *UAV* oferecem algumas soluções novas e inovadoras de salvaguarda dos campos agrícolas contra as pragas que advêm das aves, com a utilização de tecnologias avançadas como a *IA* e a *IoT*, em que se treina modelos de *machine learning* e se usam sensores remotos para analisar imagens e dispersar as aves, respetivamente [3] [4].

## 1.1 Âmbito

Ultimamente a agricultura tem enfrentado desafios cada vez maiores devido às perdas causadas por pragas, as aves destacam-se como um dos principais problemas para os agricultores, gerando assim prejuízos em diversas colheitas. Um estudo realizado na Suécia entre os anos de 2000 e 2015 apontou que espécies como o ganso-cinzento (*Anser anser*), o ganso-branco (*Branta leucopsis*) e a gralha-de-pescoço-branco (*Grus grus*) foram responsáveis por mais de 90 % dos danos registados, resultando na perda de aproximadamente 34.500 toneladas de colheitas [5]. Em outras regiões, como Nova Iorque e Polónia, as perdas em colheitas de frutos, como cerejas e mirtilos, atingiram os 26 % e 22 %, respetivamente [6]. Apesar do uso de métodos tradicionais para afastar as aves, a eficácia destas estratégias tem-se mostrado limitada, a mesma pesquisa mostrou que em Nova Iorque mesmo com o uso destas abordagens, os agricultores ainda registam perdas anuais de até 6,6 milhões de dólares. Este cenário é gravado pela intensidade das práticas agrícolas, que tornam as plantações mais vulneráveis aos ataques de aves e outras pragas.

Neste contexto, surge a motivação para desenvolver um protótipo de solução que detete e disperse aves, com o objetivo de proteger as colheitas recorrendo a drones autónomos. Pretende-se criar uma ferramenta capaz de identificar as aves que ameaçam as plantações e implementar estratégias eficazes para as afastar. Este projeto visa tornar o uso de drones mais acessíveis e práticos para os agricultores, reduzindo custos e aumentando a eficácia. Adicionalmente, esta solução pretende contribuir para

uma agricultura mais sustentável, auxiliando os agricultores na proteção das suas colheitas, enquanto promove praticas ambientalmente responsáveis.

## 1.2 Definição do Problema

A proteção eficaz das colheitas é crucial para haver segurança alimentar e a diminuição das perdas económicas na agricultura [7]. As aves são um dos riscos naturais mais graves para os campos, com grandes perdas registadas em diferentes tipos de produtos agrícolas [8]. Os métodos tradicionais de repelir as aves incluem, entre outros, espantalhos, redes e dispersores acústicos. Todos estes métodos geralmente não oferecem uma proteção satisfatória [7]. A maioria destes métodos são trabalhosos, caros e, por vezes, bastante ineficientes para operações agrícolas em grande escala. As limitações destes métodos tradicionais levam à necessidade de optar por abordagens inovadoras, como os *UAV*, que oferecem uma solução dinâmica e escalável [8]. Deve-se identificar as metodologias usadas, explorando a utilização de soluções baseadas em UAVs na dissuasão das aves e proteção dos campos. Através deste estudo pormenorizado, pretende-se avaliar a forma como os *UAV* podem proporcionar meios mais eficazes e eficientes de proteção de colheitas, tirando partido de tecnologias avançadas como as redes neuronais para melhorar o seu desempenho nesse domínio [4].

## 1.3 Objetivos

O objetivo deste projeto surge no âmbito do desenvolvimento em curso de uma solução para dispersar aves em terrenos agrícolas de cultivo. Tratando-se da parte 3 do desenvolvimento desta solução, este projeto visa propor e avaliar uma solução que permite a dispersão de aves, em terrenos agrícolas de cultivo, através do uso de drones operados automaticamente. Em concreto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento do modelo de gestão da operação autónoma dos drones na deslocação aos pontos identificados para criação de manobras de dispersão de aves. Para atingir este objetivo principal, são definidos os seguintes objetivos/metasp intermédias: análise do estado de arte e levantamento tecnológico, análise de requisitos, proposta e implementação de uma solução demonstradora, testes funcionais da solução proposta. Sendo este projeto dividido em duas partes, Projeto I e Projeto II, nesta fase foi elaborado um cronograma apresentado na Tabela 1, respeitante apenas às tarefas consideradas no desenvolvimento da primeira parte do projeto descritas em seguida:

**Tarefa 1:** Realizar o levantamento do estado da arte, analisando trabalhos relacionados e tecnologias disponíveis para a dispersão de aves.

**Tarefa 2:** Analisar e definir os requisitos técnicos e funcionais necessários para a proposta do sistema.



## 2 Estado de Arte

Esta secção apresenta o estado da arte, a partir de pesquisas realizadas, analisando artigos científicos que contêm informações relacionadas com a proteção de colheitas baseada em drones. Para esta revisão, foi utilizado o método *PRISMA* (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) [9]. Esta abordagem é utilizada para identificar, filtrar e selecionar estudos relevantes sobre o tema em específico. Assim, é facilitada a recolha exaustiva de dados fornecendo uma metodologia estruturado de avaliação e revisão da literatura. Ao longo deste capítulo é descrita a aplicação da metodologia *PRISMA* na criação do estado da arte, é feita uma análise às várias abordagens encontradas, são identificados os desafios e oportunidades e finalmente é apresentada uma análise crítica.

### 2.1 Metodologia

Ao longo desta secção são descritos os vários passos seguidos na aplicação da metodologia *PRISMA* para a análise e filtragem de trabalhos relacionados com o tema deste projeto e construção do seu estado da arte.

#### 2.1.1 Seleção dos estudos

A estratégia de pesquisa foi efetuada através de uma consulta baseada em questões de investigação, considerando as palavras-chave relacionadas com o tema. As questões de pesquisa que deveriam ser respondidas incluíam:

1. Que estratégias inovadoras baseadas em *UAV* estão atualmente a ser utilizadas para dissuasão de aves e proteção de colheitas na agricultura, e como se comparam em termos de eficácia e eficiência?
2. Quais são os principais desafios e limitações associados ao uso de *UAVs* para a preservação das plantações, especificamente em relação a fatores ambientais e custos operacionais?

Como é que as tecnologias emergentes, como a *IA*, a *IoT* e as conceções energeticamente eficientes, podem melhorar a eficácia e a sustentabilidade dos sistemas de salvaguarda das colheitas baseados em *UAV*?

As seguintes palavras-chave foram combinadas com *OR* ou/e *AND* para tornar os resultados da pesquisa tão relevantes quanto possível:

“*UAV in agriculture*”, “*UAV in pest control*”, “*Bird deterrent systems*”, “*Bird Control*”, “*Drones in agriculture unmanned aerial systems*”, “*Unmanned aircraft systems precision weed detection*” e “*UAV bird control*”. Estas palavras-chave foram pesquisadas em bases de dados, incluindo *Scopus* [10], *Web of Science* [11], *IEEE Xplore* [12] e *PubMed* [13], respetivamente. A pesquisa identificou artigos e estudo de investigação revistos por pares. Além disso, o *Google Scholar* foi uma fonte suplementar citações relevantes. As bases de dados foram consultadas sistematicamente para tentar encontrar diversas

perspetivas sobre as práticas dos *UAV* na agricultura, centrando-se nas estratégias de detecção e dispersão de aves, nos avanços tecnológicos e nas aplicações práticas no terreno.

### **2.1.2 Critérios de Inclusão e Exclusão**

Foram aplicados critérios de inclusão e exclusão pré-definidos para garantir a qualidade e a relevância dos estudos selecionados. Para os critérios de inclusão, foram considerados os seguintes: Estudos centrados em técnicas de detecção e dispersão de aves baseadas em *UAV*, numa investigação que abordasse os avanços tecnológicos em sistemas *UAV* para aplicações agrícolas, artigos que envolvessem ensaios de campo práticos ou metodologias validadas na proteção de culturas, artigos de jornais revistos por pares ou atas de conferências.

Para os critérios de exclusão, foram considerados os seguintes fatores: Artigos não relacionados com as práticas agrícolas, tais como os que se centram na entrega de encomendas ou em aplicações militares; estudos que discutem a tecnologia dos drones sem relevância para a preservação das plantações; artigos não publicados em revistas com revisão por pares ou sem detalhes metodológicos suficientes; uma investigação limitada a discussões teóricas sem provas práticas ou baseadas no terreno. Estes critérios ajudaram a restringir o âmbito da revisão a estudos diretamente relevantes para os objetivos da investigação, assegurando uma análise focada nas tecnologias *UAV* na proteção de colheitas.

### **Processo de Pesquisa**

O processo de pesquisa envolveu três etapas principais: identificação, seleção e avaliação da elegibilidade. As etapas foram sendo conduzidas de forma sistemática para manter a transparência e a consistência da revisão.

#### **Identificação**

A pesquisa inicial nas bases de dados revelou 250 registos, tendo sido identificados mais 30 registos através de outras fontes. Isto elevou o número total de registos identificados para 280. Após a remoção de 177 registos duplicados, principalmente porque as pesquisas foram efetuadas em várias bases de dados diferentes, o conjunto de dados ficou reduzido a 103 estudos únicos.

#### **Seleção**

Os resumos dos 103 estudos foram revistos quanto à sua relevância para as aplicações dos *UAV* na salvaguarda de culturas. Foram excluídos os estudos irrelevantes para o tema da investigação, tais como os que se centravam exclusivamente na tecnologia dos drones sem abordar as aplicações agrícolas. Esta etapa eliminou 33 registos, deixando 70 estudos para avaliação posterior.

#### **Avaliação da Elegibilidade**

Os restantes 70 estudos foram avaliados em texto integral com base nos critérios de inclusão e exclusão. Esta fase envolveu uma revisão pormenorizada das metodologias, resultados e relevância de cada estudo para garantir uma investigação de elevada qualidade e aplicável. Esta fase excluiu 43 estudos pelas razões a seguir descritas. E estudos não focados em aplicações de drones para proteção de colheitas (23 estudos): estes estudos abordaram principalmente tópicos não relacionados, tais como sistemas de entrega baseados em drones ou aplicações não agrícolas de *UAV*.

Rigor metodológico insuficiente (15 estudos): foram excluídos os artigos que não apresentavam uma conceção experimental clara ou métodos de validação. Artigos com discussão teórica limitada (16 estudos): os artigos que não incluíam aplicações práticas ou ensaios de campo foram considerados não aplicáveis ou adequados.

### **Inclusão Final**

Após a avaliação de elegibilidade, 16 estudos foram incluídos na revisão final. Estes estudos forneceram informações abrangentes sobre os métodos de deteção e dispersão de aves baseados em *UAV*, integrando tecnologias avançadas como a *IoT*, a *IA* e as imagens multiespectrais para proteção de culturas agrícolas. A base de dados utilizada na realização da pesquisa foram: *Scopus*, *Web of Science*, *IEEE Xplore* e *PubMed* visto que a sua utilização para pesquisas através de *queries* oferecem diversas vantagens, incluindo acesso a recursos confiáveis, atualizações constantes, facilidade de navegação e ferramentas de pesquisa avançadas. A pesquisa foi realizada em setembro, outubro e novembro de 2024. A Figura 1 apresenta o fluxograma que descreve as várias fases de pesquisa dos artigos a estudar no âmbito deste trabalho.

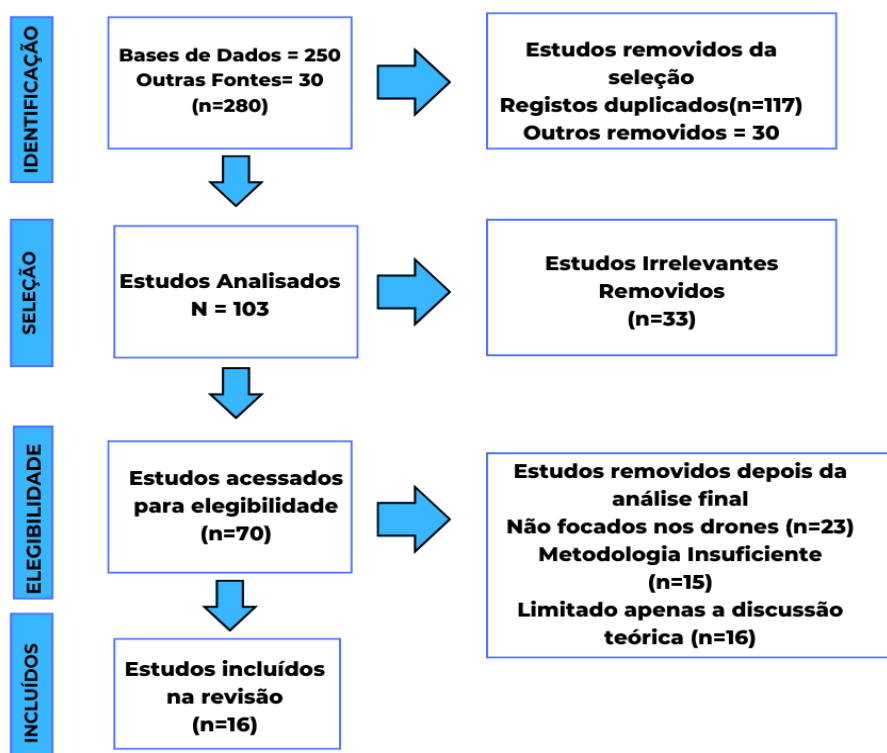


Figura 1- Fluxograma das fases de pesquisa

## Resultados

Os estudos que foram analisados fornecem uma boa compreensão da utilização de *UAVs*, na agricultura. Das aplicações e abordagens existentes, as mais notáveis incluem proteção de colheitas, controlo de ervas daninhas e pragas, a monitorização e o tratamento de doenças, entre muitas outras. Os 16 estudos finais destacam os avanços recentes neste domínio e podem identificar e propor soluções viáveis para os problemas enfrentados. Uma parte essencial do estudo é a integração de *UAVs* com inteligência artificial, tecnologias da Internet das Coisas (*IoT*) e sistemas de imagem avançados para detetar doenças, alterações climáticas, tipos de pragas e aves que estão dispersas. Estes estudos também enfatizaram os ensaios práticos e as implementações no terreno, oferecendo informações valiosas sobre a sua eficácia e limitações.

Através destes estudos, discutem-se temas-chave como a implantação de sistemas automatizados de deteção de aves que aproveitam os dados visuais e de sensores, a tomada de decisão baseada em *IA* para operações de *UAV* e a imagem multiespectral para identificar as ameaças às plantações. Além disso, exploram a escalabilidade das tecnologias de drones para aplicações de pequena e grande escala. Esta literatura abrange diversas regiões geográficas, incluindo a América do Norte, a Europa, a Ásia e a Austrália, o que mostra a relevância das tecnologias de preservação de colheitas com base em drones a nível mundial [2].

## 2.2 Utilização de Drones na Agricultura - Abordagens Utilizadas

Muitos métodos têm sido utilizados para obter resultados positivos na agricultura. Dentro dos estudos, existem abordagens notáveis, sendo um comum a implementação de *IA* na dispersão de aves [4]. Os drones equipados com câmaras e sensores identificam ameaças aviárias em tempo real. Por exemplo, [14] e [15] utilizaram algoritmos de aprendizagem automática para classificar espécies de aves e prever o seu comportamento. Com esta informação, o sistema pode lançar um método de dissuasão adequado de acordo com o comportamento específico das aves. Algumas estratégias de dispersão das aves incluem a dissuasão sonora. Em [16] investigou-se a dissuasão baseada no ruído, utilizando drones que emitem sons para repelir as aves sem causar danos. Estes sons podem imitar o chamamento de predadores, ruídos de alta frequência ou explosões súbitas, que naturalmente alarmam as aves e as levam a abandonar a área [17]. Estas tecnologias foram melhoradas através da personalização dos sons, em que os drones são programados para emitir sons específicos para cada espécie [18]. Estes podem ser a de uma mudança na frequência para aquela que uma determinada espécie de aves teme, um aumento de volume ou a utilização de estrondos altos, o que aumenta a eficácia do método sem afetar outras espécies, como os polinizadores, etc. [19]. O método também não é letal, pelo que está em conformidade com as considerações éticas nas práticas agrícolas [20]. Entre os estudos efetuados, o artigo [21] registou elevadas taxas de sucesso na dispersão de aves dos campos durante as fases de maturação das plantações, embora as aves tendessem a regressar se os intervalos de som não forem geridos de forma dinâmica. O estudo [2] revelou a eficácia de sistemas de *UAV* baseados em laser e luz para dispersar as aves durante períodos críticos. Estas alturas críticas são as alturas em que as aves estão muito ativas, que incluem o amanhecer e o anoitecer [22]. Estes sistemas exploram a sensibilidade visual das aves, especialmente no à luz infravermelha [23], utilizando estímulos visuais súbitos para espantá-las [24]. Os lasers são direcionados para onde é produzido os feixes de luz em movimento que imitam o movimento dos seus predadores ou desorientam as aves, levando-as a fugir [25]. Este método é altamente eficaz para as espécies de aves que são visualmente sensíveis à luz, tornando-o adequado para períodos de alta pressão como a pré-colheita [26]. Também oferece um impacto ambiental mínimo em comparação com os métodos baseados no som. Outra abordagem, como referido em [27], é a integração da Internet das Coisas (*IoT*) com os *UAV*. De acordo com [16], “*A Internet das Coisas (IoT) é um paradigma em que os objetos físicos, equipados com sensores e interfaces de comunicação, tornam-se parte integrante da internet, trocando informações e permitindo novas aplicações e serviços*”. Trata-se de uma rede de dispositivos e sistemas interligados que comunicam e trocam dados através da internet, permitindo a monitorização, o controlo e a automatização em tempo real [28] e [29]. A *IoT* utiliza sensores, atuadores e tecnologias de comunicação para integrar os mundos físico e digital, permitindo que os dispositivos funcionem de uma forma inteligente e colaborativa, sem necessidade de intervenção humana

constante [3]. Os agricultores podem obter vigilância em tempo real e a dissuasão dinâmica de aves ligando os drones a sistemas de monitorização habilitados para *IoT*, tendo a monitorização em tempo real onde os sensores *IoT* colocados em campos, recolhem os dados sobre a presença de aves, a saúde das culturas e condições ambientais, alimentando informações para os *UAVs* [30]. Assim sendo, ter uma resposta adaptativa em que os drones com conectividade *IoT* podem adaptar as suas trajetórias de voo e métodos de dispersão com base nos dados em tempo real e aumentar a escalabilidade, uma vez que o sistema pode gerir vários drones em vastos terrenos agrícolas, permitindo a dissuasão coordenada das aves.

Por último, como salientado em [27] e [31], as tecnologias de imagiologia utilizam imagens multiespectrais para detetar danos nas colheitas. Estas podem utilizar IA para determinar o tipo e a extensão dos danos [32]. Podem detetar o crescimento de ervas daninhas, tipos de doenças, falta de nutrientes e usar os drones para combater o problema. Além disso, o estudo [1] salientou a conceção de drones energeticamente eficientes para aumentar a longevidade operacional, enquanto em [33] demonstrou a eficácia da robótica de enxame para práticas agrícolas em grande escala.

## 2.3 Desafios Encontrados

Os estudos assinalaram vários desafios na utilização de drones na agricultura para a proteção das colheitas. O primeiro são os fatores ambientais, como as condições meteorológicas, que afetam grandemente a eficácia dos drones [34]. A investigação efetuada por [31] e [35] observou que o vento e a chuva comprometem frequentemente a estabilidade dos drones e a qualidade dos dados dos sensores. As temperaturas elevadas provocam o sobreaquecimento dos sistemas, o que pode causar atrasos significativos.

O custo elevado da operação e manuseio de um drone é também uma barreira crítica enfrentada pelos agricultores que optam por estes métodos. Isto pode acontecer especialmente aos pequenos agricultores com menor poder de compra. Em [36] observou-se que os elevados gastos despendidos associados às tecnologias de IA e de imagiologia limitam a sua acessibilidade. Estas tecnologias tornam elevado o gasto de aquisição de um drone [37]. Os custos de manutenção e de funcionamento são igualmente grandes, uma vez que o estudo realizado [1] salientou que a curta duração das baterias dos drones limita a sua utilização em vastos campos agrícolas, o que significa que o custo da energia vai aumentando à medida que a dimensão dos campos aumenta. Foram também levantadas algumas questões de carácter ético e ecológico. O trabalho apresentado em [2] salientou a potencial perturbação da vida selvagem não visada, podendo ter grandes implicações nos diferentes ecossistemas por causa da utilização generalizada dos drones. Além disso, os desafios de escalabilidade foram destacados no estudo desenvolvido em [8], que enfatizou a necessidade de soluções *UAV* mais adaptáveis para atender às diversas necessidades na agricultura moderna.

## 2.4 Oportunidades

Existem várias oportunidades para o avanço da salvaguarda de culturas agrícolas através da utilização de *UAV*. A Inteligência Artificial e a Internet das Coisas oferecem um grande potencial na recolha, processamento e análise dos dados em tempo real [38]. Em [39] foi proposta a utilização de modelos de aprendizagem automática para otimizar as trajetórias de voo e a melhoria nas estratégias de dispersão de aves. Em [29] foi salientado o recurso à IA para melhorar a precisão da deteção. Este facto pode aumentar a eficácia dos métodos e, ao mesmo tempo, reduzir os custos graças a uma maior eficiência energética [40]. Os dados recolhidos podem também ser utilizados para otimizar métodos futuros. As conceções de *UAV* eficientes do ponto de vista energético representam outra área promissora de inovação. Em [1] foi sugerido que os drones híbridos ou alimentados por energia solar poderiam resolver as limitações da vida útil da bateria, alargando as capacidades operacionais a áreas maiores. Do mesmo modo, [33] demonstrou que os usos de técnicas robóticas de enxame podem fornecer soluções escaláveis para práticas agrícolas extensivas. Os enquadramentos políticos e regulamentares também foram identificados como fatores críticos. O trabalho de desenvolvimento em [7] enfatizou a necessidade de regulamentos claros para incentivar a adoção de tecnologias *UAV*, abordando ao mesmo tempo preocupações éticas e ambientais. Em [41] foi defendido o desenvolvimento de sistemas de *UAV* multifuncionais capazes de realizar tarefas de vigilância e proteção das plantações, oferecendo a todos os agricultores uma solução mais abrangente.

A Tabela 2 apresenta um resumo trabalhos e soluções acima descritos, naquilo que se consideram ser os aspetos mais relevantes para o trabalho proposto neste projeto: Título, Autores, Ano de Publicação, Metodologia e Principais Conclusões.

*Tabela 2-Tabela de resumo dos trabalhos e projetos considerados estado da arte.*

Título	Referências	Ano	Metodologia	Principais Conclusões
<i>Deterrence of birds with an artificial predator, the RobotFalcon</i>	[33]	2022	Utilização de um drone predador robótico para dissuasão de aves	Drone predador eficaz para dispersão de aves; 85% de eficiência
<i>Evaluating drones as bird deterrents in industrial environments: Multirotor vs fixed-wing efficacy</i>	[7]	2024	Comparação entre drones multirotor e de asa fixa em termos de eficácia de dispersão	Os drones de asa fixa têm melhor desempenho na dispersão em grande escala
<i>Advancements in electronic bird</i>	[24]	2022	Funcionalidade usada de	Avaliou-se a eficácia, o impacto

<i>repellent technology: A comprehensive review of effectiveness, environmental impact, and practical applications</i>			repelentes eletrônicos de aves	ambiental sendo ecologicamente sustentável
<i>Automated execution of a pest bird deterrence system using a programmable unmanned aerial vehicle (UAV)</i>	[2]	2022	Dissuasão automatizada de aves nocivas com UAVs programáveis	Automatização bem sucedida da dissuasão de aves-pragas utilizando UAVs
<i>Evaluating the potential utility of drones to deter birds from areas of human-wildlife conflict</i>	[1]	2018	Avaliação da utilidade dos drones na redução de conflitos com aves	Os drones demonstram potencial para atenuar os conflitos entre humanos e animais selvagens
<i>Bird deterrent solutions for crop protection: Approaches, challenges, and opportunities</i>	[42]	2023	Análise das abordagens, desafios e oportunidades no domínio da dispersão das aves	Visão global dos desafios e lacunas na dispersão das aves
<i>Nonlethal bird deterrent strategies</i>	[21]	2020	Revisão das estratégias não letais de dissuasão das aves	As estratégias centram-se na dissuasão ética e eficaz das aves
<i>Boost precision agriculture with unmanned aerial vehicle remote sensing and edge intelligence: A survey</i>	[43]	2021	Utilização de sensoriamento remoto nos UAV	O sensoriamento remoto por UAVs melhora a eficiência da agricultura de precisão
<i>Spraying drones: Efficacy of integrating an avian repellent with drone hazing to elicit blackbird flock dispersal</i>	[35]	2024	Drones de proteção combinados com repelentes de aves para dispersão de bandos	A integração dos repelentes permite uma melhor dispersão dos bandos
<i>Artificial intelligence-based</i>	[31]	2021	Sistema de detecção de aves	A IA melhora a precisão da

<i>harmful bird detection control system</i>			nocivas baseado em IA com controlo automatizado	deteo de aves e a eficiência operacional
<i>A system using artificial intelligence to detect and scare bird flocks in the protection of ripening fruit</i>	[27]	2021	Sistema de IA para deteo e afugentamento de bandos de aves na proteo de frutos em amadurecimento	O sistema baseado em IA protege eficazmente os frutos em amadurecimento
<i>UAV-based smart bird control using convolutional neural networks</i>	[8]	2022	Redes neuronais convolucionais para o controlo de aves com base em UAV	Algoritmos de deep learning melhoram as capacidades de controlo das aves
<i>Deep learning-based methods for individual recognition in small birds</i>	[15]	2020	Treino de redes neuronais para reconhecimento de aves	Estas redes neuronais permitem identificar aves sem marcaes visuais e funcionam em diversos contextos
<i>Artificial intelligence-based scarecrow prevention from crop destruction</i>	[36]	2023	Sistema de espantalhos baseado em IA para proteo das colheitas	Espantalho acionado por IA reduz significativamente as perdas de colheitas
<i>Unmanned aircraft vehicles</i>	[20]	2018	UAV na aquisio de imagens e dados geoespaciais	Os UAV são ferramentas versáteis que permitem dados de alta precisão sobre a superfície
<i>A novel path planning optimization algorithm based on particle swarm optimization for UAVs for bird monitoring and repelling</i>	[41]	2021	Algoritmo de otimizao por enxame de partículas para a monitorizao de aves por UAV	Algoritmos avançados melhoram a utilidade dos UAV para o controlo de aves
<i>Low-cost smart raven deterrent system with tiny</i>	[39]	2022	Sistema dissuasor inteligente de	Sistema de dissuasão econmico

<i>machine learning for smart agriculture</i>			baixo custo que utiliza aprendizagem automática	baseado na IA para a agricultura inteligente
---	--	--	---	--

## 2.5 Análise Crítica dos resultados

As diferentes abordagens utilizadas oferecem diferentes níveis de resultados. Isto é verídico para a proteção de colheitas baseada em *UAV*. Como observado nos estudos acima, cada uma das abordagens terão as suas vantagens e limitações. Os métodos de dispersão baseados no som, como os que utilizam drones equipados com dispositivos emissores de ruído, são uma opção acessível [34]. No entanto, o seu efeito é limitado pelos hábitos das aves, estímulos biológicos e resposta ao som. O seu uso repetitivo também permite que algumas aves se familiarizem e se adaptem a eles, reduzindo assim a sua eficácia a longo prazo [42], onde salientou que, embora os métodos baseados no som fossem inicialmente prometedores, o seu impacto diminui com o tempo, à medida que as aves se adaptavam aos estímulos. Em contrapartida, as abordagens baseadas na *IA* utilizam algoritmos avançados de aprendizagem automática para identificar as espécies de aves e prever o seu comportamento, o que permite uma resposta direcionada. Estes sistemas integram frequentemente imagens multiespectrais e análises em tempo real, alcançando uma maior precisão e adaptabilidade [44]. A pesquisa [14] demonstrou que os sistemas de *UAV* orientados para a *IA* alcançaram uma precisão de detecção de 85%, superando significativamente os métodos tradicionais. Porém, esses sistemas exigem investimentos iniciais substanciais em tecnologia e formação, o que limita a acessibilidade a explorações agrícolas de grande escala.

### Impacto da tecnologia *UAV* no controlo das aves

As inovações na tecnologia dos drones tiveram um impacto significativo na preservação das colheitas, uma vez que melhoraram em relação aos métodos tradicionais. Estas tecnologias ofereceram precisão, eficiência e escalabilidade [45]. Ao contrário dos métodos tradicionais de dispersão estática, como espantalhos, jingles movidos a vento e sirenes, a monitorização em tempo real permitiu que as câmaras e sensores montados em *UAV* detetassem com precisão as ameaças cometidas pelas aves [43]. Ao mesmo tempo, a sua mobilidade permite estratégias de dissuasão direcionadas a um respetivo problema. Por exemplo em [35] mostra como os *UAVs* integrados com sistemas *IoT* podem fornecer vigilância contínua e respostas adaptativas, otimizando a utilização de recursos. As tecnologias *UAV* contribuem igualmente para a sustentabilidade do ambiente. Isto deve-se à redução da dependência de produtos químicos, como os pesticidas e os métodos de dissuasão não seletivos [46]. Os sistemas baseados na luz e no som não são letais e minimizam os danos causados às espécies não visadas. Apesar destas vantagens, existem algumas

limitações, como a relação custo-eficácia, a facilidade de utilização e a compatibilidade com diversas práticas agrícolas [42]. A pesquisa [1] observou que os agricultores com conhecimentos técnicos limitados podem enfrentar desafios na implantação de sistemas avançados de *UAV* sem formação e apoio adequados.

### **Limitações do estudo**

Embora os estudos revistos possam oferecer conhecimentos valiosos sobre um tema na perspectiva de vários peritos, não deixam de ter várias limitações. A escalabilidade e generalização dos estudos pode não ser exata, uma vez que alguns dos resultados foram obtidos em explorações agrícolas de pequena escala ou especializadas num determinado tipo de planta. Por exemplo, [27] efetuou ensaios em campos de trigo, mas a sua aplicabilidade a pomares de fruta ou a outras plantações continua por testar.

Além disso, uma estrutura padronizada para avaliar os sistemas *UAV* na proteção das colheitas é notavelmente ausente. Existe algumas diferenças na conceção do estudo, métricas e critérios de avaliação que tornam a comparação de resultados ou a elaboração de conclusões definitivas um desafio [9]. O estudo [2] destacou a necessidade de protocolos unificados para avaliar parâmetros como a precisão da deteção, a eficácia da dissuasão e o impacto ecológico. Sem esta estrutura, as partes interessadas podem ter dificuldade em tomar decisões informadas sobre a adesão a tecnologias *UAV*.

### **Implicações Futuras**

A tecnologia que tem como base os drones que protegem as colheitas das aves invasoras é um vasto campo com grande potencial. A investigação e a utilização atuais da mesma, só contemplam uma superfície ínfima das possibilidades que podem existir nesta área de estudo. Para concretizar o potencial que lhes é conferido, os investigadores, os decisores, os políticos e as partes interessadas da indústria devem colaborar e estabelecer alguns enquadros regulamentares para abordar as limitações éticas e ambientais. [7] salientou ainda que são essenciais estipular diretrizes claras sobre a utilização dos drones, incluindo limites de ruído e luz, para garantir o equilíbrio ecológico. Os investigadores devem também esforçar-se por desenvolver soluções rentáveis que permitam que a tecnologia ganhe escala e seja acessível aos pequenos agricultores e aos agricultores dos países em desenvolvimento, que constituem a maior parte dos agricultores do mundo. A pesquisa [27] sugeriu que a integração de sistemas *IA* e *IoT* em plataformas de fácil acesso poderiam democratizar a agricultura de precisão. Isto significa que as inovações como os sistemas modulares de *UAV*, em que os agricultores podem personalizar as características com base nas suas necessidades, podendo tornar estas tecnologias mais fáceis de aprender e usar. Por último, a investigação interdisciplinar é fundamental para abordar as limitações identificadas nos estudos que existem na literatura existente.

O trabalho futuro deve centrar-se em ensaios de campo em grande escala, nos diversos tipos de plantações e sistemas híbridos que combinem vários métodos de

dispersão. As tecnologias *UAV* podem tornar-se uma pedra angular da proteção sustentável e eficiente de colheitas, promovendo a inovação e a colaboração.

### 3 Solução proposta

Como já referido anteriormente, a proteção dos campos agrícolas para afugentar as aves é um desafio considerável na agricultura, pois representam uma ameaça às plantações, resultando em enormes prejuízos económicos. Diante deste problema anteriormente identificado, este projeto propõe a implementação e validação de uma solução proposta que recorre a drones autónomos para proteger as colheitas agrícolas de aves.

A solução proposta abrange um sistema integrado composto por uma estação base com elevado poder computacional para executar diversas operações e um drone equipado com sensor e câmara, sendo capaz de realizar deslocamentos até certos pontos estratégicos para afugentar as aves. A estação base estará encarregue de processar informações recolhidas pelo drone, definir as rotas que vai executar e enviar comandos, se necessário, em tempo real. O drone vai fazer manobras predefinidas como sobrevoo de áreas de larga escala e exercer uma resposta dinâmica à presença de aves. Os diversos componentes do drone fornecerão dados sobre o posicionamento do drone, observar obstáculos no percurso e as condições ambientais, assegurando uma navegação segura e eficaz. Além da componente tecnológica, foram definidos cenários controlados que simulam condições reais de cultivo, permitindo testar a eficácia da solução em termos de precisão, estabilidade e tempo de resposta [47].

Desta forma, esta solução visa minimizar os danos causados pelas aves e reduzir os custos para os agricultores. O uso de drones representam uma abordagem inovadora para o problema em questão, combinando automação e várias tecnologias emergentes para oferecerem uma proteção adaptável às necessidades do setor agrícola.

#### 3.1 Arquitetura

A arquitetura proposta para este projeto integra componentes de *hardware* e *software*, concebidos para assegurar o funcionamento coordenado e eficiente do sistema. O foco recai na combinação da recolha de dados, processamento e execução de ações de forma autónoma, permitindo ao drone executar tarefas complexas de modo preciso e escalável. Os principais componentes da arquitetura são:

Drone atua como a unidade aérea responsável pelo recebimento de dados visuais, monitoramento ambiental e execução de manobras de voo. Equipado com sensores de estabilização e câmara de alta resolução, o drone garante a precisão e a estabilidade durante as operações. A comunicação com a estação base, permitindo a transmissão de dados em tempo real e a receção de comandos de controle.

Base: funcionará como o centro de processamento e controlo do sistema. Nesta estação, são executados *scripts* para processamento de imagens. A estação base é responsável por planejar as missões do drone, analisar os dados recebidos, gerar os comandos de voo e monitorar o status do sistema em tempo real, um computador. A arquitetura representada na Figura 3 apresenta um sistema de comunicação para um drone

programável e autónomo, usando uma estação base e uma rede de comunicação sem fios para assegurar a transmissão e receção de dados em tempo real. A estação base é um dispositivo computacional responsável pelo processamento de variadas informações, o envio de comandos e a gestão de operação do drone. Este dispositivo engloba a tarefa de navegação e análise dos dados, garantindo que o drone atue conforme os objetivos estabelecidos. A comunicação sem fios entre o drone e a estação base permite o envio de comandos e a receção de dados. O drone procede de maneira autónoma, deslocando-se até certos pontos e executa ações conforme o que foi programado. Ele obtém instruções da estação base e envia dados sobre a sua posição, o estado do equipamento e eventuais obstáculos que possa haver. Para este sistema funcionar de forma correta, é fundamental que haja estabilidade na comunicação e tenha um alcance adequado, para que não haja falhas na transmissão.

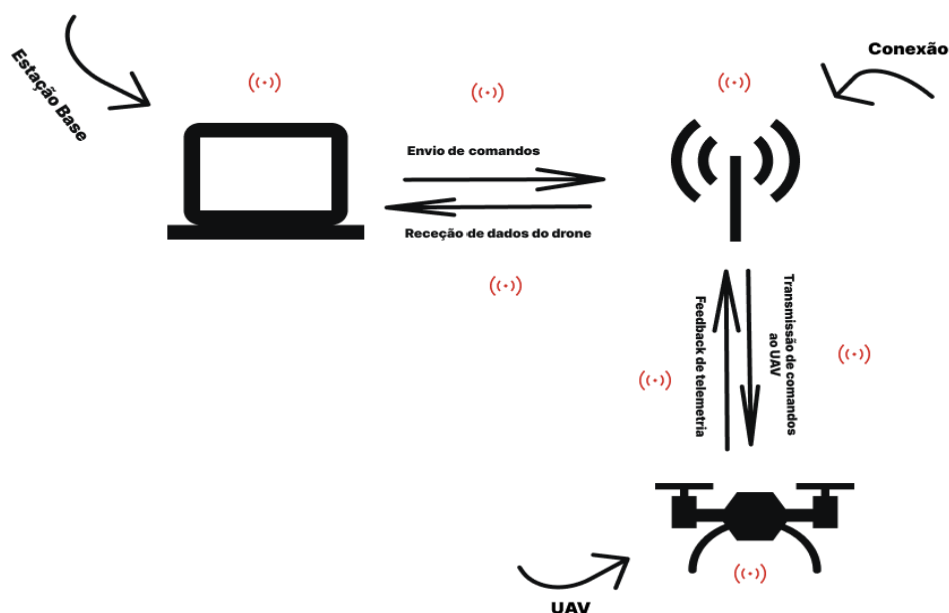


Figura 2-Arquitetura da solução proposta

### 3.2 Identificação de Requisitos

Os critérios técnicos foram definidos com base nas necessidades específicas do projeto, considerando as limitações do ambiente e as operações a serem realizadas. De seguida, detalham-se os principais requisitos do sistema:

- Comunicação sem fios: A estação base estabelece uma ligação estável com o drone para a troca de dados em tempo real, o que minimiza falhas operacionais.
- Estação base com poder computacional suficiente: Para se poder processar as informações complexas, a estação base deve ter a capacidade computacional suficiente para processar dados de navegação e otimizar rotas, garantindo autonomia e resposta rápida.

-Drone programável e autónomo: O drone é projetado para obter comandos da estação base e executar diversas operações sem intervenção humana. Isto inclui a capacidade de seguir trajetórias pré-definidas, responder a determinados estímulos e adaptar-se a diferentes cenários. Para o drone, ainda se tem variados requisitos específicos para que todos os componentes do sistema funcionem de forma harmoniosa, detalhando-se estes requisitos:

-Precisão na decolagem e aterragem: o drone deve garantir a precisão na decolagem e aterragem, o que é essencial para operações seguras em espaços agrícolas confinados, como pomares ou corredores estreitos, onde o espaço de manobra é limitado.

-Movimentos lineares precisos: durante o voo, o drone deve seguir linhas retas com um bom desvio. Este nível de precisão é essencial para tarefas como mapear campos e monitorizar áreas específicas de forma eficaz.

-Estabilidade angular: o drone deve manter uma inclinação estável, esta estabilidade é crucial para garantir a qualidade dos dados recolhidos, como imagens e para evitar que o drone se desvie da sua trajetória.

-Tempo de resposta rápido: o sistema deve responder aos comandos enviados pelo computador. Esta rapidez é fundamental para operações dinâmicas e para garantir a segurança em situações inesperadas.

### 3.3 Desenvolvimento

Um dos elementos fundamentais para atingir o objetivo deste projeto é a utilização de um drone autónomo e programável. Assim, nesta fase pretendeu-se encontrar uma solução que correspondesse a estes requisitos e iniciar os seus testes preliminares. Para este fim, foi nos disponibilizado o *drone dji Tello* [48]. Embora pudessem ser consideradas outras alternativas, este drone tem algumas características que o tornam mais apelativo, nomeadamente, a simplicidade do modelo de comunicação e programação. Na Figura 4 é apresentado o drone *dji Tello* e em seguida são descritas as principais características deste drone.



**Figura 3-** Imagem do drone Tello

O drone *DJI Tello*, conforme é descrito no manual [49], apresenta as seguintes características e funcionalidades relevantes para os testes realizados: dimensões compactas, que são ideais para operações em áreas internas e ambientes confinados, um peso máximo de 87g, um tempo máximo de voo de aproximadamente 13 minutos em condições ideais (sem vento e a uma velocidade constante de 15 km/h), uma velocidade máxima de 28,8 km/h(modos rápido), altitude máxima de voo de 10 metros, um sistema de posicionamento visual que integra câmeras e sensores infravermelhos para manter a estabilidade e precisão em altitude de 0,3 a 9 metros, possui uma bateria LiPo de 3.8V e 110 mAh com proteções contra sobrecarga, descarga excessiva e curto-circuito e tempo de carregamento de aproximadamente de 1 hora e 30 minutos, possui sensores de estabilidade, incluindo um sistema de posicionamento visual que mantém o drone estável e preciso em locais mais fechados, com mudança automática para o Modo *ATTI (Attitude Mode)* caso os seus sensores detetem irregularidades no ambiente.

### 3.3.1 Aplicabilidade no Projeto

O SDK (Kit de Desenvolvimento de Software) do drone *DJI Tello* controla e automatiza o drone com a execução de ordens programáveis em linguagem *python*, facilitando a ligação entre o usuário e o aparelho. O drone oferece um grupo de instruções que pode ser enviado para o drone e pretende fazer tarefas específicas como a subida, descida, movimento do aparelho e a verificação do estado da bateria. Com o *SDK*, o drone é controlado à distância por scripts assegurando uma alta precisão e eficiência nas muitas operações. Para o drone *DJI Tello* estar funcional corretamente é necessário seguir uma série de etapas que abrange instalação, configuração da comunicação e conexão com a rede do drone. No começo, o drone deve ser ligado, clicando no botão de ligar até que as luzes comecem a piscar. Depois, é

preciso se conectar na rede *Wi-Fi* criada pelo *Tello*, o nome da nossa rede é “*TELLO-E91206*”. Com esta conexão, forma-se um canal de comunicação direta entre o computador ou aparelho móvel e o drone. Em seguida, a comunicação com o drone é feita por meio de ordens enviadas pelo protocolo *UDP* para endereço *IP* (192.168.10.1) e porta padrão (8889) do *Tello*. Este protocolo garante que as instruções sejam passadas com baixa latência e grande fiabilidade [49]. O *DJI Tello* é uma ferramenta robusta e económica para testes iniciais, permitindo que o sistema seja programado para voar em trajetórias pré-definidas e realizar manobras específicas. A sua integração com o *Python* e o *SDK* oferece flexibilidade para programar cenários detalhados e registar métricas precisas, essenciais para as análises deste estudo [50]. Onde será estabelecida uma comunicação bidirecional entre a estação base e o drone via *Wi-Fi*. Isso permitirá o envio de comandos de controlo em tempo real e a receção de dados de telemetria, como o nível da bateria, obtido através do comando *get\_battery*. O comando *command* ativará o modo *SDK*, habilitando uma vasta gama de funcionalidades e comandos para o controlo do drone. O drone será programado para executar diversas operações como decolagens, ajustando a sua altura com o comando *move\_up* após a ativação do *takeoff*, e aterragens controladas com o comando *land*. Estas operações serão realizadas em áreas delimitadas para validar a precisão destas manobras. Adicionalmente, o drone será configurado para voar em trajetórias pré-definidas utilizando o comando *move\_forward*, com velocidades ajustadas pelo comando *set\_speed*. Isto permitirá avaliar como diferentes configurações impactam na precisão e estabilidade ao percorrer distâncias específicas.

Em cenários que envolvam rotações, o comando *rotate\_clockwise* será utilizado para realizar movimentos de 90° e 180° no sentido horário, enquanto o comando *rotate\_counter\_clockwise* será aplicado para retornos controlados, validando a estabilidade angular durante mudanças de direção. E em simulações de condições reais de operação, o drone será programado para desviar de obstáculos em trajetórias lineares com os comandos *move\_left* e *move\_right*, este método tem como objetivo garantir que a solução proposta cumpra todos os requisitos estabelecidos anteriormente. Nesta subseção, serão apresentados os materiais utilizados, a abordagem metodológica adotada e as etapas seguidas para alcançar os objetivos deste projeto I.

### 3.3.2 Materiais Necessários

Os materiais foram selecionados cuidadosamente para garantir fiabilidade e precisão nas operações realizadas, para tal segue a lista dos mesmos:

- O drone *DJI Tello*.
- Computador *Asus Vivobook*, que possui uma memória *RAM* de 16 GB e um processador *RYZEN 7*, que será utilizado para programar o drone e processar os dados coletados durante os testes.

-Conexão que vai permitir a comunicação com o drone, via *Wi-Fi* para o envio de comandos em tempo real.

-Software: Software: *Python 3.9*, utilizado para programar as trajetórias e processar os dados obtidos. Bibliotecas: *DJI SDK* (controlador para o drone), *OpenCV* (processamento de imagem) e *Matplotlib* (visualização) [50].

- Ambiente de Teste que será um espaço Interno com uma área delimitada de mais ou menos 2x2 metros, marcada no piso com giz branco, a fim de proporcionar referências visuais. Usou-se uma régua medir e validar as distâncias e uma câmara para documentar imagens dos testes.

### 3.3.3 Metodologia e Implementação

O sistema foi concebido para operar de forma cíclica, garantindo a consistência dos testes realizados. O procedimento segue cinco etapas principais:

**Configuração Inicial:** Nesta etapa, verifica-se o estado da bateria, sensores e a ligação *Wi-Fi* do drone, além do posicionamento adequado do drone no ponto inicial para assegurar condições ideais de operação.

**Envio de Comandos:** Foram desenvolvidos *scripts* em *Python* para controlar as trajetórias, ângulos de rotação e velocidades, permitindo um controlo preciso das operações.

**Execução:** o drone realiza as atividades programadas, como deslocamentos e rotações, de acordo com os comandos.

**Registo de Resultados:** durante os testes serão recolhidos imagens e dados de telemetria.

**Análise e Validação:** os dados obtidos são comparados com os objetivos traçados, utilizando uma tabela para apresentar os resultados como a precisão e estabilidade.

## 4 Testes De Avaliação

Nesta secção, vamos descrever os testes que serão realizados para avaliar o desempenho e a precisão do protótipo desenvolvido. O objetivo principal destes testes é confirmar que os requisitos definidos estão a ser cumpridos, como a precisão nos movimentos de decolagem e aterragem, movimentações lineares, rotações controladas e desvio de obstáculos. Para isso, serão simulados cenários específicos que recriam condições reais, porém num ambiente controlado. Os testes serão realizados utilizando os materiais já mencionados anteriormente, que são: o drone *DJI Tello*, que será programado e controlado via *Python* e *Tello SDK*. A comunicação entre o drone e o computador será feita por uma rede *Wi-Fi*. Este sistema permitira o envio de comandos e a recolha de dados. Posteriormente, estes dados serão analisados para validar as métricas de desempenho. Cada cenário será configurado com cuidados para testar uma funcionalidade específica do sistema. Por exemplo, nos testes de desvio de obstáculos, o drone será programado para desviar de barreiras enquanto segue trajetórias lineares, entre outros cenários. O um fluxo contínuo de comandos e respostas: o computador envia as instruções ao drone, recebe *feedback* sobre o estado operacional e ajusta os comandos conforme necessário. Este ciclo será repetido em todos os cenários testados, garantindo resultados consistentes e permitindo comparações entre os diferentes testes realizados.

### 4.1 Cenário 1

Neste cenário, o objetivo foi avaliar a precisão do drone ao realizar decolagens automáticas, ajustes de a altura e aterragens controlados num espaço limitado. O drone *DJI Tello* foi configurado com *Python* e o *Tello SDK* [50], utilizando comandos específicos para garantir que as operações fossem executadas de forma precisa e segura também. A ligação entre o drone e o computador foi feita via *Wi-Fi*, utilizando o protocolo *UDP* e o *command* para ativar o modo *SDK*, mas antes foi feita a verificação do estado atual da bateria para poder seguir com o teste, usando o *get\_battery* para análise. O drone foi programado para decolar com o comando *takeoff*, foi ajustado a sua altura para 1 metro (m) e para isso usou-se o comando *move\_up* (100), e em seguida, aterrar de forma controlada com o comando *land*.

### Resultados

Conforme mostrado na Figura 4, o drone realizou a decolagem e aterragem com precisão dentro da área limitada. A análise dos dados de telemetria, o comando *get\_battery* que retorna o nível da bateria (este comando foi usado em todos os cenários de teste) confirmou que o drone manteve estabilidade e precisão durante as operações, dando assim uma mais-valia ao funcionamento do sistema. A seguir a imagem, temos a figura 5 que apresenta o fluxograma do mesmo.

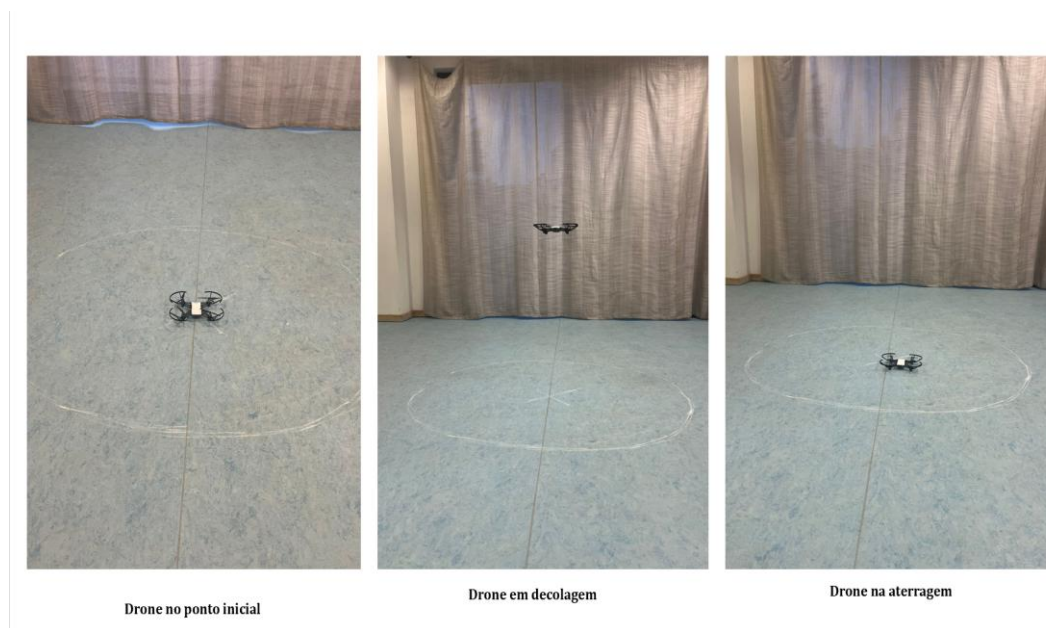


Figura 4- Cenário 1: Drone antes, durante e depois da aterragem

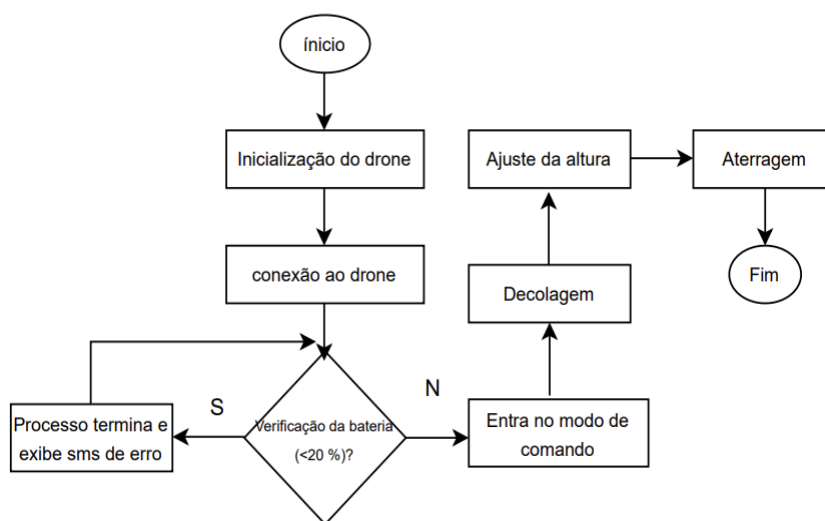


Figura 5-Fluxograma do Cenário 1

## 4.2 Cenário 2

Este cenário teve como propósito avaliar o desempenho do drone ao realizar movimentos lineares por etapas, com uma distância de 2 m que foi dividida em segmentos de 50cm. Basicamente a ideia era para verificar a capacidade do drone em manter uma boa precisão, estabilidade e consistência em cada uma das etapas. Utilizamos o drone *DJI Tello*, que foi configurado com *Python* e o *Tello SDK* [50], primeiro foi feita análise do estado atual da bateria(*get\_battery*), para não correr o

risco do drone desligar-se em pleno voo, ele foi programado para avançar 50 cm a cada etapa, para tal usou-se o comando *move\_forward* (50). A sua velocidade foi ajustada para 20 cm/s através do comando *set\_speed* (20). Basicamente o teste foi conduzido em 4 etapas consecutivas, nas quais o drone avançava 50 cm. Após cada movimento feito, o drone era pausado para garantir a sua estabilidade antes de iniciar a próxima etapa.

## Resultados

Conforme é apresentado na Figura 6 na sequência de fotos, o drone decolou e em seguida completou perfeitamente as 4 etapas com sucesso, mantendo assim uma boa trajetória linear e sobretudo estável, cada uma destas etapas foram analisadas de forma individual. A sequência mostra claramente o ponto de partida, as etapas intermédias e o ponto de chegada, confirmando o desempenho satisfatório do sistema ao longo de todo o percurso. A seguir a sequência de imagem, temos a figura 7 que apresenta o fluxograma do mesmo.

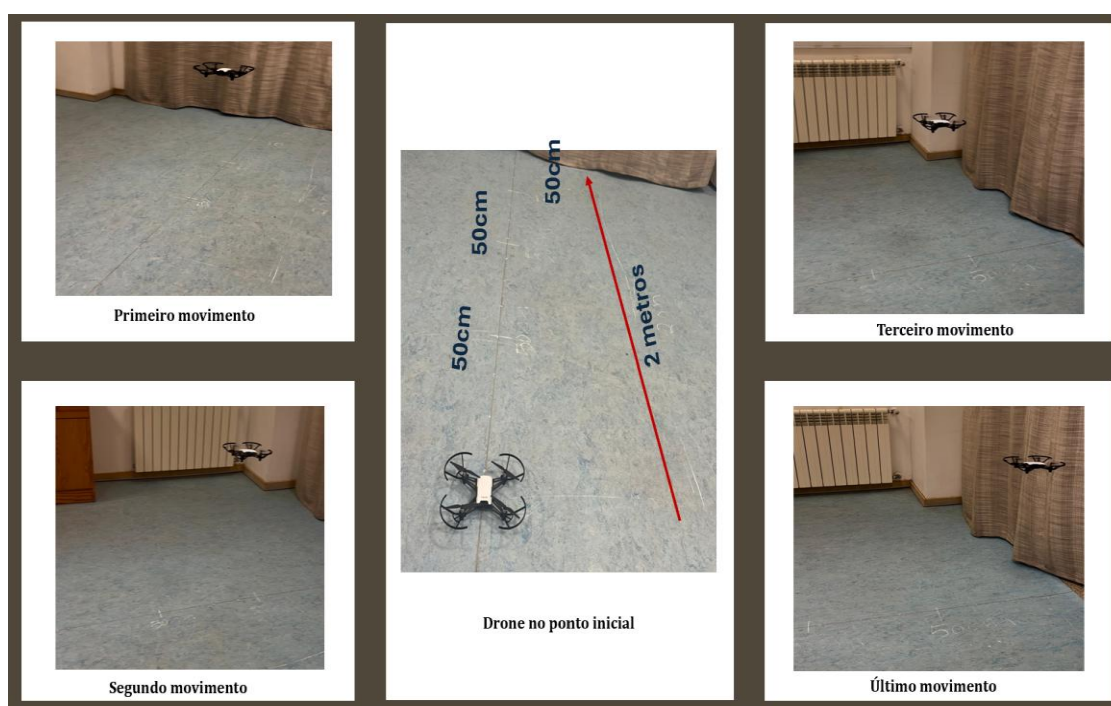


Figura 6-Cenário 2: Drone em diferentes movimentos lineares

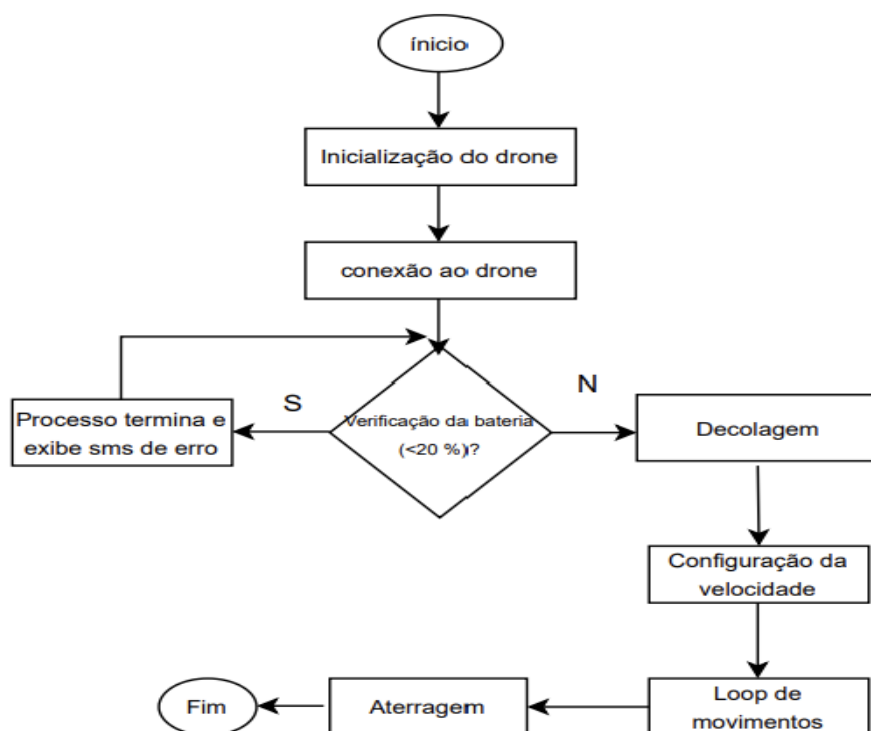


Figura 7- Fluxograma do Cenário 2

### 4.3 Cenário 3

Este cenário teve como objetivo avaliar a capacidade do drone de realizar rotações precisas, em ângulos de  $90^\circ$  e de  $180^\circ$ , tanto no sentido horário como no sentido anti-horário, para tal utilizamos o drone *DJI Tello*, que foi configurado com *Python* e o *Tello SDK* [50]. Após a conexão o drone verificou o estado atual da bateria(*get\_battery*) para poder seguir com a configuração de forma segura, após decolar com o comando *takeoff*, o drone foi programado para executar rotações no sentido horário utilizando *rotate\_clockwise (90)* e *rotate\_clockwise (180)*. Para retornar à posição inicial, foram utilizadas as rotações no sentido anti-horário, aplicando *rotate\_counter\_clockwise (90)*. Cada operação foi repetida umas três vezes para averiguar a consistência das manobras. Durante os testes, a estabilidade angular e os ângulos alcançados foram monitorizados em tempo real.

#### Resultados

Conforme ilustrado na figura 8 a sequência de fotos, mostra que o drone decolou e fez as rotações de sentido horário para  $90^\circ$  e  $180^\circ$ , tal como foi programado. As fotos mostram claramente que o drone completou as rotações com precisão e manteve a

estabilidade durante todos os movimentos. A análise confirmou que o sistema cumpre os requisitos da estabilidade angular definida para o projeto. A seguir, temos a figura 9 que apresenta o fluxograma do mesmo.

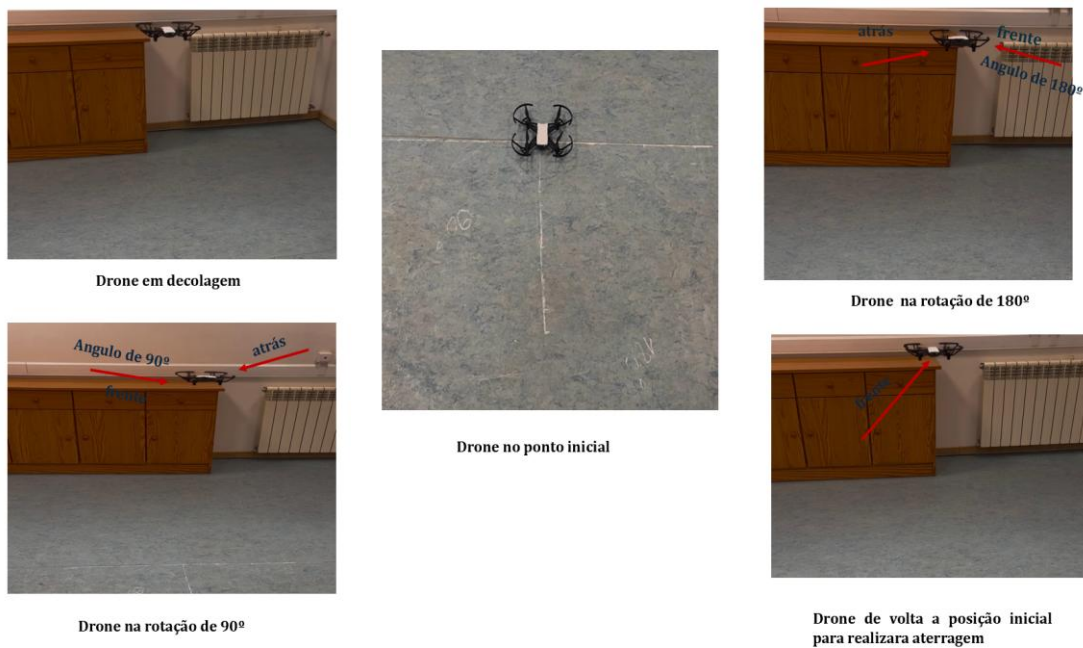


Figura 8-Cenário 3 - Drone executando rotações de 90° e 180°

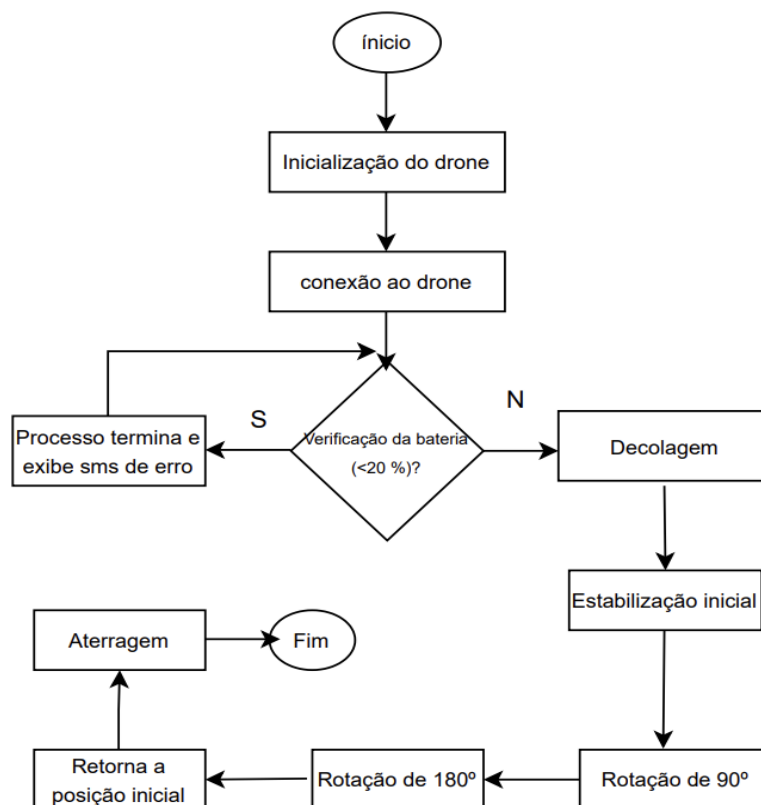


Figura 9-Fluxograma do Cenário 3

#### 4.4 Cenário 4

Este quarto e último cenário tem com objetivo simular um ambiente “real “ onde o drone precisa desviar de obstáculos ao longo de uma trajetória linear, avaliando a sua eficiência em ajustar a trajetória de forma autônoma, utilizamos ainda o drone *DJI Tello*, que foi configurado com *Python* e o *Tello SDK* [50]. O teste começou com a conexão do drone, a seguir realizou a verificação da bateria(*get\_battery*) para que o drone não falhasse no meio do teste, após a verificação positiva o drone seguiu com a decolagem usando o comando *takeoff*. Os obstáculos foram posicionados estrategicamente ao longo de uma trajetória de 1 metro. O drone avançou até ao primeiro obstáculo com *move\_forward (50)*, desviou lateralmente com *move\_left (30)*. Para o segundo obstáculo o drone desviou dele com mesmo comando, o *move\_forward (50)* e para o desvio *move\_left (30)*. Este processo foi repetido em todos os 3 obstáculos, até que o drone alcançasse o ponto final da trajetória. Durante toda a execução, os dados de posição e tempo de percurso foram registados. A seguir, temos a figura

## Resultados

A figura 10 apresenta o percurso realizado pelo drone, podemos observar na sequência de fotos que o drone decola, segue em frente e assim que deteta um obstáculo (vaso de planta) ele desvia e volta para seguir em frente, tal como programado, assim sucessivamente até chegar a reta final. O drone concluiu o teste com sucesso, mostrando que é capaz de ajustar a sua trajetória de uma maneira precisa e estável, mesmo em cenário com obstáculos. A seguir temos a figura 11, que apresenta o fluxograma do cenário.

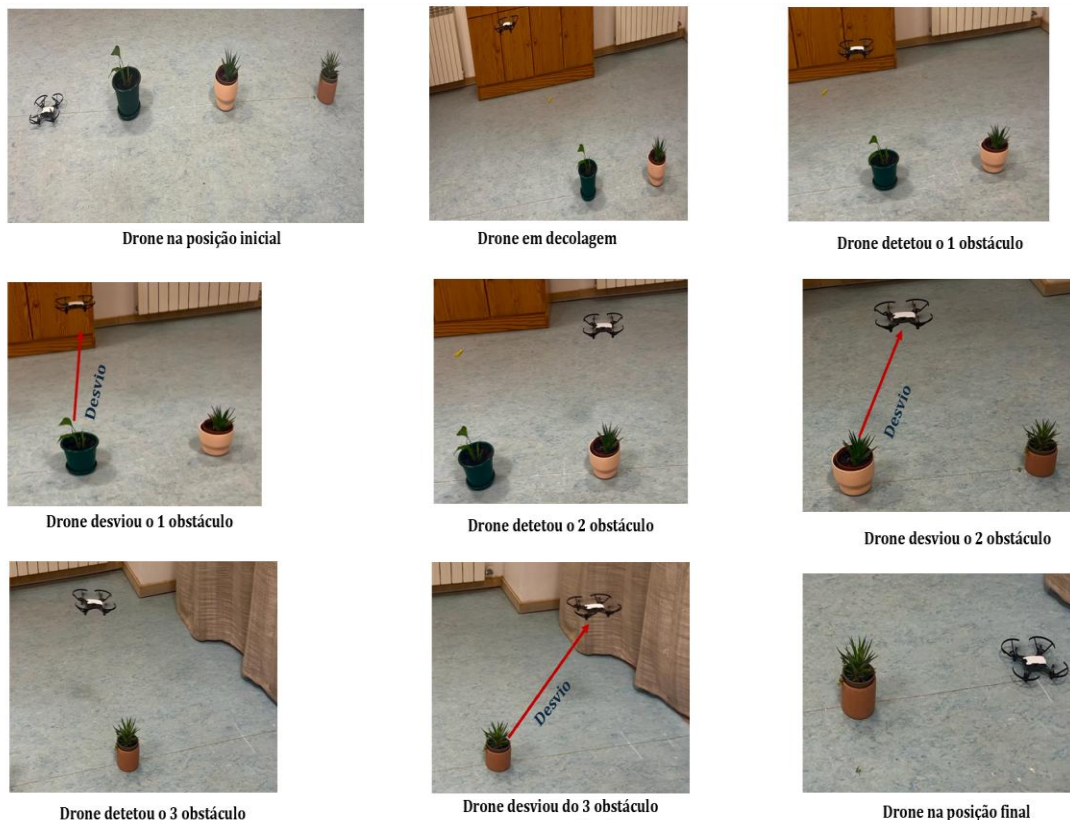


Figura 10-Cenário 4: Drone desviando de obstáculos ao longo da trajetória

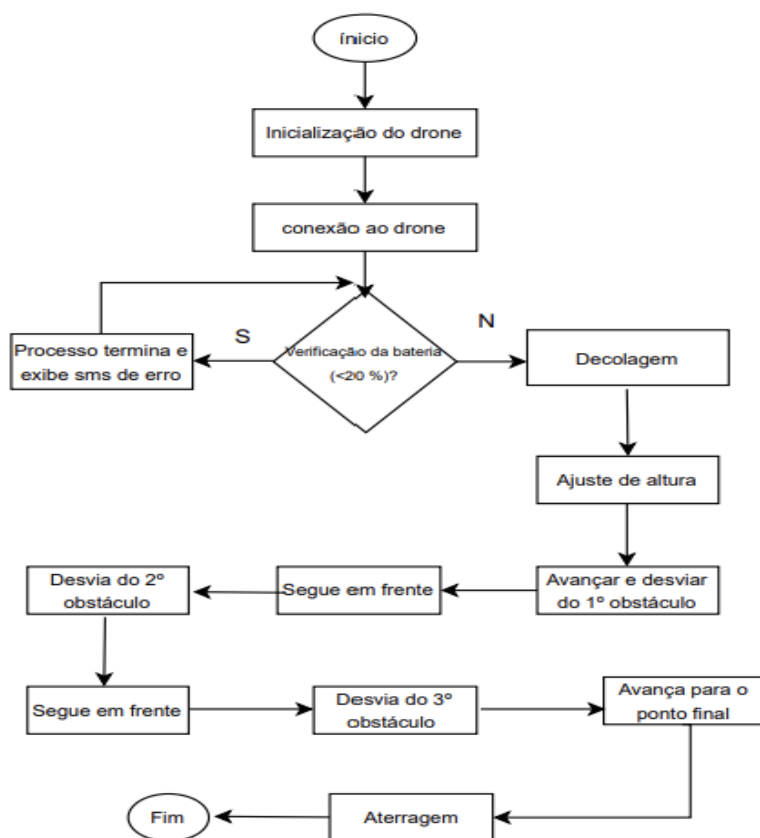


Figura 11-Fluxograma do Cenário 4

### Avaliação de Desempenho

Com o intuito de avaliar os resultados obtidos nos testes realizados, foram adotadas métricas concretas, todos os testes apresentaram um bom funcionamento nas métricas. Essas métricas permitem apresentar uma visão clara do desempenho deste drone e servir como base para o ajuste do mesmo no futuro. Os resultados dos estes se encontram organizados na Tabela 3, a qual sumariza as métricas aferidas para cada situação.

Tabela 3- Tabela dos Resultados na avaliação

Cenário	Métrica Avaliada	Resultado
Decolagem e Aterragem	Precisão	Manteve estabilidade e precisão
Movimentos Lineares	Precisão	Manteve trajetória linear e estável
Rotações de Precisão	Estabilidade angular	Manteve precisão e estabilidade angular
Estabilidade com Obstáculos	Precisão	Trajетória precisa e estável

## **Discussão**

Os resultados dos testes permitiram mostrar que o drone realiza bem as ações programadas, obtendo assim um bom desempenho. Nos testes de decolagens e aterragens o drone manteve um boa estabilidade e precisão, já nos testes com movimentos lineares o drone manteve a sua trajetória linear e estável, assim como nas rotações de precisão, onde o drone manteve uma boa precisão e estabilidade angular e por fim nos testes com obstáculos, o drone manteve a sua trajetória precisa e estável. Apesar dos resultados terem sido positivos e estáveis drone vai precisar de passar por testes mais rigorosos para provar que ele funciona bem em qualquer lugar e não apenas em um ambiente controlado, mas isso são ajustes e melhorias futuras no sistema.

## 5 Conclusões

Durante este trabalho, o objetivo foi que, no contexto do desenvolvimento de uma solução, afugentar as aves em terrenos de cultivo, fazendo a 3ª parte deste tema. A pesquisa feita tencionou propor e avaliar esta solução que faz a gestão dos drones para executar manobras de dispersão, possibilitando a deslocação otimizada a um determinado ponto. Para atingir este objetivo principal, foram definidas várias tarefas, que incluem a análise do estado de arte e levantamento tecnológico das abordagens utilizadas atualmente. Foi feita a definição dos requisitos para a arquitetura da solução proposta e a sua implementação, fazendo vários testes funcionais para a validação da solução. Durante o desenvolvimento deste trabalho, a solução proposta integrou diversos componentes de *hardware* e *software*, com um drone *DJI Tello* controlado através da linguagem *python* e do *SDK* específico do drone, possibilitando a programação de trajetórias definidas, a execução de manobras de desvio de obstáculos e de rotação. Os testes foram realizados em quatro cenários, tendo em conta a decolagem, aterragem automáticas, movimentos lineares, as rotações de precisão e o desvio de obstáculos. Os resultados mostraram que o drone teve uma boa estabilidade e precisão durante todas as operações, em que foi cumprido todos os requisitos definidos para este estudo. O sistema englobado pela arquitetura considera-se robusto em ambiente controlado, funcionando com êxito nas manobras que foram programadas. Em suma, a solução proposta mostrou-se viável para aplicações agrícolas, apesar de ajustes para uma melhor adaptação a condições reais do campo, incluindo alterações climáticas e topográficas, sendo uma base sólida para desenvolvimentos futuros.

### 5.1 Desafios e Trabalho futuro

Com base no trabalho desenvolvido durante este projeto, deve-se ter em conta a ampliação e a validação da solução proposta em cenários mais compatíveis com a realidade e uma adaptação para cenários fora do ambiente controlado. Num cenário prático, requer-se uma avaliação do sistema em relação ao clima, topografia do terreno utilizado e a variação de comportamento de aves em situação não simuladas. Além disso, será necessário explorar alternativas para superar as limitações do hardware atual, em que inclui o alcance do voo limitado devido a ser suportado por rede de curto alcance e a autonomia da bateria do *UAV* utilizado tendo dificuldade em percorrer longas distâncias.

Na próxima etapa do projeto, será dado a continuidade ao desenvolvimento da solução para afugentar as aves em terrenos agrícolas, com foco na otimização da operação autónoma dos drones. O objetivo principal para o trabalho futuro é avançar na implementação da gestão do drone que possibilitará a deslocação eficiente até certos pontos estratégicos para execução de manobras para afugentar pássaros.

## 6 Referências Bibliográficas

- [1] C. C. Egan, "Evaluating the potential utility of drones to deter birds from areas of human-wildlife conflict," North Dakota State University., 2018.
- [2] C. Bhusal, M. Karkee e Q. Zhang, "Automated execution of a pest bird deterrence system using a programmable unmanned aerial vehicle (UAV)," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 198, n<sup>o</sup> 2, p. 106972, 2022.
- [3] F. Fuentes-Peñailillo, "Transformative technologies in digital agriculture: Leveraging Internet of Things, remote sensing, and artificial intelligence for smart crop management," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 13, n<sup>o</sup> 3, p. 39, 2024.
- [4] T. Sidhu, "Using artificial intelligence (machine vision) to increase the effectiveness of human-wildlife conflict mitigations could benefit WAW," 2022.
- [5] T. Montràs-Janer, J. Knape, L. Nilsson, I. Tombre, T. Part e J. Mansson, "Relating national levels of crop damage to the abundance of large grazing birds: implications for management.," *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, pp. 2286-2297, 2019.
- [6] H. M. Henrichs, R. B. Jason e D. C. Paul, "Limiting Bird Damage to Fruit Crops in New York: Damage Assessments and Potential Management Strategies for the Future," 2013.
- [7] I. M. Hornain e N. F. N. Rosely, "Evaluating drones as bird deterrents in industrial environments: Multicopter vs fixed-wing efficacy," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 13.6, pp. 3960-3967, 2024.
- [8] A. B. Mahmood, "UAV-based smart bird control using convolutional neural networks," *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, Vols. %1 de %289-94, 2022.
- [9] D. V. PARUMS, "Review articles, systematic reviews, meta-analysis, and the updated preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) 2020 guidelines," *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, vol. 27, 2021.
- [10] T. o. d. s. reservados, "https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic," 2024.
- [11] W. o. Science, "https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search," 2024.

- [12] I. Xplore, "<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>," 2024.
- [13] P. Med, "<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>," 2024.
- [14] P. Rivadeneira, "A review of bird deterrents used in agriculture," em *vertebrate pest conference*, 2018.
- [15] A. C. Ferreira, "Deep learning-based methods for individual recognition in small birds," *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 11.9, n<sup>o</sup> 9, pp. 1072-1085, 2020.
- [16] W. M. W. Mohamed, N. M. Naim e A. Abdullah, "The efficacy of visual and auditory bird scaring techniques using drones at paddy fields," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 834, n<sup>o</sup> 1, p. 012072, 2020.
- [17] H. Kim, E. McCloy, G. Williamson e T. Vandermolen, "Low-cost autonomous amphibious bird chasing robot," *IEEE International Symposium on Measurement and Control in Robotics (ISMCR)*, pp. A2-3, 2029.
- [18] M. Lyons, "Bird interactions with drones, from individuals to large colonies," *Australian Field Ornithology*, vol. 35, pp. 51-56, 2018.
- [19] E. K. Blesdoe e D. T. Blumstein, "What is the sound of fear? Behavioral responses of white-crowned sparrows *Zonotrichia leucophrys* to synthesized nonlinear acoustic phenomena," *Current Zoology*, vol. 60.4, pp. 534-541, 2014.
- [20] J. Awange e J. Kiema, "Unmanned aircraft vehicles," *Environmental Geoinformatics: Extreme Hydro-Climatic and Food Security Challenges: Exploiting the Big Data*, pp. 265-289, 2018.
- [21] S. Lukas, L. Clark, A. Davis, D. Sanchez e L. Brewer, "Nonlethal bird deterrent strategies," 2018.
- [22] A. Bruni, D. J. Mennill e J. R. Foote, "Dawn chorus start time variation in a temperate bird community: relationships with seasonality, weather, and ambient light," *Journal of Ornithology*, vol. 155, pp. 877-890, 2014.
- [23] M. Yassin e N. Juleet, "Design and construction of a dynamic and sonic scarecrow using Atmega 328p microcontroller: A case study," 2018.
- [24] J. Ade-Omowaye, P. Ikubanni, P. Onu e O. Ogunniyi, "Advancements in electronic bird repellent technology: A comprehensive review of effectiveness, environmental impact, and practical applications," *International Conference on Science, Engineering and Business for Driving Sustainable Development Goals (SEB4SDG)*, pp. 1-10, 2024.
- [25] T. Honda, "The physiology of deterrence: Flicker vertigo and its application in avian management," *bioRxiv*, Junho 2026.

- [26] C. Adams, E. Fernández-Juricic, E. M. Bayne e C. C. Clair, "Effects of artificial light on bird movement and distribution: A systematic map," *Environmental Evidence*, vol. 10, pp. 1-28, 2021.
- [27] P. Marcoň, J. Janoušek e P. Pokorný, "A system using artificial intelligence to detect and scare bird flocks in the protection of ripening fruit," *Sensors*, vol. 21, n° 12, p. 4244, 2021.
- [28] G. Singh e S. Sharma, "A comprehensive review on the Internet of Things in precision agriculture," *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1-76, 2024.
- [29] P. Singh, N. S. Chaudhary e R. Bhatt, "WSN application for crop protection to divert animal intrusions in the agricultural land," 2024.
- [30] F. K. Shaikh, S. Karim, S. Zeadally e J. Nebhen, "Recent trends in Internet-of-Things-enabled sensor technologies for smart agriculture," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, n° 23, pp. 23583-23598, 2022.
- [31] S. H, "Artificial intelligence-based harmful bird detection control system," *The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, vol. 16, n° 1, pp. 175-182, 2021.
- [32] M. Javaid, I. M. Haleem e R. Suman, "Understanding the potential applications of artificial intelligence in agriculture sector," *Advanced Agrochem*, vol. 2, n° 1, pp. 15-30, 2023.
- [33] R. F. Storms, "Deterrence of birds with an artificial predator, the Robot Falcon," *Journal of the Royal Society Interface*, vol. 19, n° 195, p. 20220497, 2022.
- [34] M. Dayoub, R. J. Birech, M. H. Haghbayan, S. Angombe e E. Sutinen, "Co-design in bird scaring drone systems: Potentials and challenges in agriculture," em *Proceedings of the International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics 2020*, 2021.
- [35] J. L. Duttenhefner, T. J. Greives e P. E. Klug, "Spraying drones: Efficacy of integrating an avian repellent with drone hazing to elicit blackbird flock dispersal and abandonment of sunflower fields," em *Wildlife Biology*, e01333, 2024.
- [36] M. Harshini e M. Manaswini, "Artificial Intelligence Based Scarecrow Prevention from Crop Destruction," *International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)*, pp. 628-634, 2023.
- [37] P. Kalaiselvi, "Harvesting efficiency: The rise of drone technology in modern agriculture," *Journal of Scientific Research and Reports*, vol. 30, n° 6, pp. 191-207, 2024.

- [38] B. K. S, "An Internet of Things-based smart agriculture monitoring system using convolutional neural network algorithm," *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, vol. 10, 2024.
- [39] S. Heo, M. Baumann, c. Margelisch, M. Giordano e M. Magno, "Low-cost Smart Raven Deterrent System with Tiny Machine Learning for Smart Agriculture," *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. 1-6, 2022.
- [40] Y. A. Rani, T. Bhaskar, M. Arshad e B. Allam, "AI-based scarecrow preventing crop vandalization," *2023 4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*. IEEE, pp. 1233-1238, Julho 2023.
- [41] R. Mesquita e P. D. Gaspar, "A novel path planning optimization algorithm based on particle swarm optimization for UAVs for bird monitoring and repelling," *Processes*, vol. 10, nº 1, p. 62, 2021.
- [42] E. B. Micaelo, "Bird deterrent solutions for crop protection: Approaches, challenges, and opportunities," *Agriculture*, vol. 13, nº 4, p. 774, 2023.
- [43] L.-E. F, "Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes: A systematic review," *Science of the Total Environment*, nº 732, p. 139204, 2020.
- [44] L. J, "Boost precision agriculture with unmanned aerial vehicle remote sensing and edge intelligence: A survey," *Remote Sensing*, vol. 13, nº 21, p. 4387, 2021.
- [45] P. S. K, "From satellite to UAV-based remote sensing: A review on precision agriculture," *IEEE Access*, 2023.
- [46] J. P. Salameh , "Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy studies (PRISMA-DTA): Explanation, elaboration, and checklist," *BMJ*, vol. 370, 2020.
- [47] C. K. Hemelrijk, C. Carere, H. v. Gasteren, R. Musters, R. F. Storms e S. Verhulst, "Improved deterrence of birds using an artificial predator, the RobotFalcon," 18 maio 2022.
- [48] R. Robotics, "Tello - Feel the Fun," Ryze Robotics, 2025.
- [49] R. Tech, "Tello User Manual, Version 1.2," *Tello\_User\_Manual\_V1.2\_EN.pdf*, 2018.
- [50] R. Tech, "Tello SDK Documentation, Version 1.3," *Tello SDK Documentation EN\_1.3\_1122.pdf*, 2022.
- [51] P. Med, "<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>," 2024.

