

ADRIANO SERAFINI GARCEZ
FERNANDO SELLERI SILVA
FLÁVIO TELES CARVALHO DA SILVA

DANDO HÉLICES À IMAGINAÇÃO

O USO DE DRONES COMO UM RECURSO PEDAGÓGICO



$$1+2=$$

$$E=mc^2$$

39



CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

G215d

Dando hélices à imaginação : o uso de drones como recurso pedagógico / Adriano Serafini Garcez; Fernando Selleri Silva ; Flávio Teles Carvalho da Silva. – Cáceres: Editora UNEMAT, 2026. 159p. II.

ISBN: 978-85-7911-326-0 (documento digital)

DOI: 10.30681/978-85-7911-326-0

1. Drones na Educação. 2. Tecnologias Digitais. 3. Pensamento Computacional. 4. Ensino de Matemática e Física. 5. Popularização da Ciência I. Dando hélices à imaginação. II. Adriano Serafini Garcez.

CDU 629.014.9:37.011.2

Adriano Serafini Garcez
Fernando Selleri Silva
Flávio Teles Carvalho da Silva

DANDO HÉLICES À IMAGINAÇÃO

o uso de drones como
recurso pedagógico



Cáceres – MT

2026

CONSELHO EDITORIAL

Portaria nº 1629/2023

PRESIDENTE

Maristela Cury Sarian

TITULARES

Josemir Almeida Barros

Universidade Federal de Rondônia - Unir

Lais Braga Caneppele

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Fabício Schwanz da Silva

Universidade Federal do Paraná - UFPR

Gustavo Rodrigues Canale

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Greciely Cristina da Costa

Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

Edson Pereira Barbosa

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Rodolfo Benedito Zattar da Silva

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Cácia Régia de Paula

Universidade Federal de Jataí - UFJ

Nilce Vieira Campos Ferreira

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Marcos Antonio de Menezes

Universidade Federal de Jataí - UFJ

Flávio Bezerra Barros

Universidade Federal do Pará - UFPA

Luanna Tomaz de Souza

Universidade Federal do Pará - UFPA

SUPLENTES

Judite de Azevedo do Carmo

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Rose Kelly dos Santos Martinez Fernandes

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Maria Aparecida Pereira Pierangeli

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Célia Regina Araújo Soares

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Nilce Maria da Silva

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Rebeca Caitano Moreira

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Jussara de Araújo Gonçalves

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat

Patrícia Santos de Oliveira

Universidade Federal de Viçosa - UFV

PRODUÇÃO EDITORIAL
EDITORA UNEMAT 2026

Copyright © dos autores, 2026.

A reprodução não autorizada desta publicação,
por qualquer meio, seja total ou parcial,
constitui violação da Lei nº 9.610/98.

Esta obra foi submetida à avaliação
e revisada por pares.

Reitora: Vera Lucia da Rocha Maquêa

Vice-Reitor: Alexandre Gonçalves Porto

Assessora de Gestão da Editora e das Bibliotecas: Maristela Cury Sarian

Imagens da capa: Adriano Serafini Garcez

Capa: Potira Manoela de Moraes

Diagramação: Potira Manoela de Moraes

Revisão: Maria Margareth Costa de Albuquerque Krause



EDITORA UNEMAT
Av. Tancredo Neves, 1095, Cavalhada III
Cáceres - MT | CEP 78217-900
editora@unemat.br | www.unemat.br/site/editora



SUMÁRIO

Apresentação.....	9
--------------------------	----------

Capítulo 1

Drones na sala de aula: inovação, aprendizagem e futuro.....	12
---	-----------

Capítulo 2

Descobrimdo o mundo dos drones.....	15
--	-----------

2.1 O que são drones?.....	15
----------------------------	----

2.1.1 Breve história dos drones.....	18
--------------------------------------	----

2.1.2 Utilização de drones.....	19
---------------------------------	----

Capítulo 3

Aspectos legais.....	22
-----------------------------	-----------

3.1 Legislação Brasileira.....	22
--------------------------------	----

3.1.1 Órgãos reguladores no Brasil.....	23
---	----

3.1.2 Normas aplicáveis.....	24
------------------------------	----

3.1.3 Operando “drones”.....	26
------------------------------	----

3.1.3.1 Regras de tipos de voos com drones.....	28
---	----

3.1.3.2 Classes de drones.....	31
--------------------------------	----

Capítulo 4

Os aspectos físicos e tecnológicos de um drone	36
4.1 Arquitetura de um drone	36
4.1.1 Arranjos de propulsão.....	39
4.1.2 Graus de liberdade de voo.....	41
4.1.3 Composição de um drone.....	43
4.1.4 Controladora.....	47
4.1.5 Sensores	50
4.1.6 Frame.....	52
4.1.7 Comunicação.....	52
4.1.8 Motores	53
4.1.9 ESC (<i>Electronic Speed Controller</i>)	54
4.1.10 Hélices	54
4.1.11 Baterias	55
4.2 Transportando um drone	55
4.3 Operando um drone	57
4.3.1 Operando um drone a partir de controle remoto ou aplicativo	59
4.3.2 Entendendo os controles de um drone.....	64

Capítulo 5

Escolha e uso de drone na educação	67
5.1 Como escolher um drone para uso pedagógico	67
5.1.1 A seleção de drone em função das tecnologias.....	69

5.1.2 A seleção de drone em função do custo.....	71
5.1.3 A seleção de drone em função do ambiente de utilização	73
5.1.4 A seleção de um drone em função da legislação brasileira	76
5.1.5 Considerações finais sobre a escolha de um drone	79
5.2 A utilização de drones na educação	83
5.2.1 Drones na educação no Brasil	85
5.2.2 Experiências educacionais com drones em diferentes contextos	88
5.3 Os drones como recurso pedagógico	91
5.3.1 Ambientes de simulação de drones.....	97
5.3.2 Drones educacionais	99
5.3.3 Segurança na utilização de drones na sala de aula.....	101
5.3.4 Teorias pedagógicas subjacentes.....	105
5.3.5 Avaliação da aprendizagem com uso de drones	109
5.3.6 Formação docente para o uso pedagógico de drones.....	116
5.3.7 Exemplos de utilização de drones no ensino	120
5.3.7.1 Plano de aula: Explorando o plano cartesiano com o <i>drone Tello</i>	121
5.3.7.2 Plano de aula: Explorando vetores com <i>drone Tello</i> (controle manual)	126
5.3.7.3 Plano de aula: Explorando a relação entre triângulo e circunferência (programação em bloco)	131
Considerações finais	139
Referências.....	141
Sobre os autores.....	154

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que apresentamos este material, um guia abrangente sobre a utilização de drones no contexto educacional desenvolvido com o objetivo de orientar professores e pesquisadores sobre a utilização desses dispositivos como recurso pedagógico. Em um mundo onde a tecnologia digital permeia cada vez mais nossas vidas, é essencial que a educação acompanhe essa evolução, preparando os alunos para um futuro inovador e tecnológico.

Este material surge como uma resposta à crescente relevância da robótica educacional, e em particular, à possibilidade do uso de drones nas escolas brasileiras. Alinhada com a Política Nacional de Educação Digital (Lei Federal nº 14.533 de 2023), buscamos oferecer um recurso que auxilie professores e pesquisadores a integrar esses dispositivos de forma eficaz em suas práticas pedagógicas.

Nosso objetivo é apresentar os drones como ferramentas versáteis e poderosas, capazes de estimular a criatividade, o trabalho em equipe e o pensamento crítico dos alunos. Exploramos desde os conceitos básicos e a história dos drones até a legislação brasileira, a arquitetura desses equipamentos e suas diversas aplicações, tanto no mercado de trabalho quanto na educação.

Caso haja dúvidas se a leitura é ou não condizente ao propósito educacional, convido-o(a) a ir diretamente ao capítulo 8 deste livro e lê-lo de modo a compreender a que se propõe este livro digital, poupando-lhe assim tempo e talvez lhe preparando para uma leitura mais atenta de todas as seções. A compreensão de cada uma delas é como um quebra-cabeça que ao final revela o que antes estava oculto.

Acreditamos que a inclusão de drones no ensino de matemática, física e outras disciplinas pode proporcionar atividades práticas e engajadoras, conectando a teoria com a realidade do mercado e despertando o interesse dos alunos pela tecnologia. Não pretendemos ditar métodos pedagógicos, mas sim oferecer um panorama completo sobre os drones, suas possibilidades e seu potencial como recurso educacional.

É importante ressaltar que a incorporação de drones no contexto educacional exige condições mínimas para sua implementação responsável e significativa. Aspectos como infraestrutura adequada para voo, observância rigorosa das normas de segurança, disponibilidade orçamentária, acesso a equipamentos e, sobretudo, formação docente específica, constituem pré-requisitos para que essa tecnologia seja utilizada de forma pedagógica e não meramente instrumental. Este material não pretende ignorar tais desafios, mas reconhecê-los como parte do processo de integração das tecnologias digitais à escola, convidando os educadores a refletirem criticamente sobre as possibilidades e limites reais de sua adoção em diferentes contextos institucionais.

Registramos nossos agradecimentos à Editora Unemat e a toda a sua equipe, pelo trabalho e cuidado editorial que possibilitaram a materialização deste livro digital; à Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), instituição que tem contribuído de forma decisiva para nossas trajetórias acadêmicas e profissionais; ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM), pelas experiências formativas e pelas contribuições ao desenvolvimento da pesquisa que deu origem a esta obra; à professora Minéia Cappellari Fagundes, do PPGECM/UNEMAT, e ao professor Rodrigo Bruno Zanin, do PROF-ÁGUA/UNEMAT, membros da banca de avaliação da dissertação que serviu de base para a produção deste livro digital, pelas contribuições e reflexões apresentadas; ao professor Érico Fernando de Oliveira Martins, do SpinLab/UNEMAT, pela leitura atenta e sugestões durante a estruturação do livro; ao Grupo de Pesquisa Estudos em Bases de Dados, Ensino e Software (e-BDES), pelo apoio e pelas discussões acadêmicas; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio institucional e pelo fomento à pós-graduação; e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a construção deste material.

Esperamos que este material seja um ponto de partida inspirador para que vocês, professores e pesquisadores, explorem o mundo dos drones e o incorporem de forma criativa e inovadora em suas salas de aula. Convidamos vocês a darem “Hélices à Imaginação” e a descobrirem as inúmeras possibilidades que essa tecnologia pode oferecer à educação.

DRONES NA SALA DE AULA: INOVAÇÃO, APRENDIZAGEM E FUTURO

O uso da robótica educacional, e especificamente de drones, nas escolas brasileiras representa uma evolução na abordagem pedagógica, integrando tecnologias atuais à educação. A Lei Federal nº 14.533 de 2023, que instituiu a Política Nacional de Educação Digital, reforça essa tendência ao destacar a importância de preparar os alunos para um futuro de trabalho que valorize a inovação e a tecnologia (Brasil, 2023c).

Além disso, a maioria das empresas tem se movido para uma realidade cada vez mais tecnológica e digital, adotando diariamente novas tecnologias digitais em seu cotidiano, a exemplo dos e-mails que alteraram as normas de comunicação, as videoconferências e o teletrabalho que substituíram a necessidade de deslocamentos e viagens, deixando claro que as organizações reconhecem que a incorporação da tecnologia aumenta a produtividade (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016). Assim Kenski destaca que:

Em nossas relações cotidianas não podemos deixar de sentir que as tecnologias transformam

o modo como nós dispomos, compreendemos e representamos o tempo e o espaço à nossa volta. Sem nos darmos conta, o mundo tecnológico invade nossa vida e nos ajuda a viver com as necessidades e exigências da atualidade. Secretárias, agendas, correios, listas, bancos e tantos outros serviços eletrônicos redimensionam nossas disponibilidades temporais e nossos deslocamentos espaciais (Kenski, 2013, p. 31).

Os drones, como dispositivos robóticos, oferecem diversas aplicações que podem ser exploradas no contexto educacional. A recreação e lazer, por exemplo, incentivam o envolvimento dos alunos e promovem habilidades como a criatividade e o trabalho em equipe. Como utilização no contexto do cinema e na mídia, permite o uso de drones para operações aéreas, propiciando aos alunos aprenderem sobre cinematografia e técnicas de produção e filmagem. Já na agricultura de precisão, as aplicações reais para análise aérea ou até mesmo pulverização ajudam os alunos a entenderem a tecnologia no agronegócio e sua importância.

Diante disso, a inclusão dos drones no ensino de matemática e física pode proporcionar atividades práticas que conectam a teoria com as realidades do mercado. Por exemplo, no contexto do ensino de matemática cálculos de trajetória, altitude e área coberta podem ser realizados durante a programação e operação de drones. Na mesma linha de raciocínio, no contexto do ensino de física, permite estudar os princípios de aerodinâmica e forças que atuam sobre o drone, oportunizando a compreensão dos conceitos físicos.

O objetivo deste material é apresentar o uso de drones como dispositivos robóticos em contextos educacionais. Não se pretende instruir professores sobre suas funções ou a melhor abordagem pedagógica, mas sim apresentar este dispositivo, que tem ganhado cada vez mais aceitação na sociedade, para recreação, cinema e agricultura de precisão. O uso dos drones no mercado de trabalho é uma realidade em crescimento que vai favorecer aqueles que estão melhor preparados para entender as possibilidades de uso e principalmente, o que é este equipamento. Acreditamos que o uso de drones no ensino de matemática e física, alinha a escola com as realidades do mercado, trazendo o que há de mais moderno e atual para um grupo de pessoas em formação.

Por fim, este material traz um panorama sucinto sobre os drones, apresentando o que são, como a legislação brasileira os aborda, suas arquiteturas, as possíveis aplicações na educação e uma breve proposta de uso como provocação ao leitor. O objetivo é despertar a curiosidade e servir como ponto de partida para professores e pesquisadores para que os usem no contexto de sala de aula como recurso pedagógico.

DESCOBRINDO O MUNDO DOS DRONES

No Brasil, os drones, por serem considerados aeronaves, se submetem aos regramentos do Ministério da Defesa, igualmente a qualquer outra aeronave, com algumas pequenas exceções que apresentaremos mais à frente. Em função disso é preciso compreender não apenas aspectos inerentes ao dispositivo, mas também questões de uso, sociais e principalmente aspectos legais próprios desse potencial objeto pedagógico.

2.1 O QUE SÃO DRONES?

O que usualmente chamamos de drone na verdade refere-se a algo mais amplo e com várias facetas que devem ser compreendidas. Primeiramente, o termo “drone” vem do inglês que significa zangão. Esse nome dá-se em função do som típico que esses aparelhos emitem que lembra um inseto voador. Porém, esse termo não é utilizado da mesma forma em outras partes do mundo, possuindo outras definições para

esse tipo de aeronave, ao qual associamos o termo drone no Brasil (Brasil, 2023a; EASA, 2024).

Na União Europeia (UE) termos como Aeronave Não Tripulada ou em inglês *Unmanned Aircraft* (UA), Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas ou em inglês *Unmanned Aircraft Systems* (UAS), e Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou em inglês *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), são empregados para o contexto dos drones, contudo UAS é aplicado para definir o conjunto de todos os equipamentos e *software* utilizados para operar e controlar a aeronave não tripulada, incluindo a própria aeronave. Esse sistema subdivide-se em duas subcategorias sendo uma os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas ou em inglês *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) e a outra, os UAS completamente autônomos (EASA, 2024).

De mesmo modo na Nova Zelândia, o termo drone é utilizado de forma genérica, sendo Aeronaves Não Tripuladas o termo legal, mas que inclui balões, aeronaves pilotadas remotamente e aeromodelos (CAA, 2025) seguindo o que é definido pela Organização de Aviação Civil Internacional ou em inglês *International Civil Aviation Organization* (OACI).

Devido a essa diversidade, é importante que o pesquisador leve sempre em consideração, verificar como o país tem definido essas tecnologias para fins de conseguir abarcar corretamente os resultados pretendidos.

Na legislação brasileira, a partir das atualizações das legislações que ocorreram em 2023, termos como UA,

UAS, RPA, RPAS são definidos e utilizados, apresentando características muito similares a outros países com pequenas variações. Há também os VANTs, porém com recomendação de desuso pela comunidade internacional (OACI), inclusive o Brasil, em função do termo “Veículo Aéreo” (Brasil, 2023a). Há ainda em nossa legislação o termo aeromodelo que “[...] significa toda aeronave não tripulada com finalidade de recreação” (Brasil, 2023e). Sendo assim, conforme bem definido no MCA¹ 56-2²:

Contando com variados tipos (asas fixas, asas rotativas, dirigíveis, drones, ornitópteros etc.), tamanhos e performances, o que diferencia um aeromodelo das outras aeronaves não tripuladas é o seu propósito de uso, sendo este aplicado única e exclusivamente para fins recreativos. Com o objetivo de permitir um acesso seguro ao espaço aéreo brasileiro, de forma controlada, existem regras que devem ser seguidas (Brasil, 2023b, p. 18).

Neste documento utilizaremos o termo “drone” na forma aportuguesada para generalizar esta gama de variantes que há, porém tendo em mente o termo “Sistema de Aeronaves Não Tripuladas” ou em inglês *Unmanned Aircraft System* (UAS) como sendo o termo correto. Além desse, a definição de “Aeronave Remotamente Pilotada” ou *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) considerar-se-á como

1 Manual do Comando da Aeronáutica.

2 Durante a organização deste material a norma ICA 100-40 foi reeditada e atualizada passando a vigorar um novo texto a partir de 1º de julho de 2026 para a mesma norma e revogando as normas MCA 56-2 e MCA 56-2. Contudo, face a supressão de muitos conceitos e esclarecimentos importantes que haviam nas versões publicadas em 2023, os textos utilizados foram mantidos, sendo atualizado apenas pontos críticos trazidos pela nova versão.

Subconjunto de Aeronaves Não Tripuladas, pilotadas a partir de uma estação de pilotagem remota, com finalidade diversa de recreação, que seja capaz de interagir com o Controle de Tráfego Aéreo em tempo real (Brasil, 2023a, p. 11).

E por Aeromodelos para aqueles equipamentos destinados à recreação (Anac, Agência Nacional da Aviação Civil, 2017).

Além disso, a legislação recomenda que

para aumentar a consciência situacional entre controladores de tráfego aéreo e pilotos de outras aeronaves, a expressão 'RPA' deverá ser utilizada, na radiotelefonia, antes do código de chamada da Aeronave Não Tripulada (UA) (Brasil, 2023a, p. 27).

Caso sejam necessários mais detalhes, deve-se consultar o sítio eletrônico do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea) e da Agência Nacional da Aviação Civil (Anac), ou ainda o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC-E) Nº 94, Emenda nº 3, que traz os requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil, bem como demais as legislações vigentes que tratam da utilização de drones no Brasil.

2.1.1 Breve história dos drones

Apesar de difundido recentemente, Aeronaves Não Tripuladas são reportadas desde a antiguidade. Contudo, a evolução e o desenvolvimento do que hoje chamamos de drones deu-se a partir do início dos anos 1900. Dekoulis (2018), destaca que as aeronaves alvo Fairy Queen e De Havilland

Queen Bee foram as precursoras neste segmento, sendo a primeira da década de 1920 e a segunda da década de 1930. O mesmo autor ainda pontua que a referência ao nome drone (zangão) faz referência às abelhas macho que tem como finalidade apenas a fecundação da abelha rainha, não sendo responsável pela coleta de pólen e néctar. De maneira análoga, o emprego do termo drone (UA) passou a ser utilizado para designar aeronaves não tripuladas que tinham como função serem alvos de tiro de armas de encouraçados, sendo que a “mãe dos drones” foi a aeronave Queen Bee.

Durante a Guerra do Vietnã, esses equipamentos foram amplamente utilizados para reconhecimento aéreo (Dekoulis, 2018) e continuaram a ser empregados em conflitos mais recentes, como as Guerras no Afeganistão e no Iraque (Ng; Cheng, 2019).

Assim, a partir dessas primeiras aeronaves destinadas a treino de tiro, os drones foram evoluindo, principalmente com a miniaturização de dispositivos eletrônicos e com a melhoria da comunicação via rádio-controle até os dias atuais.

2.1.2 Utilização de drones

Segundo Issar (2024), a “Sociedade do Drone”, na qual drones deixam de ser apenas ferramentas e se tornam atores influentes que moldam dinâmicas sociais, econômicas, governamentais e ecológicas, não pode estar restrita a apenas um pequeno grupo de pessoas, em sua maioria do sexo

masculino e com acesso a recursos financeiros condizentes com estes equipamentos. É necessário observar dimensões éticas, políticas no intuito de mitigar a segregação digital advinda da distribuição desigual da tecnologia.

Esta afirmação faz parte de uma pesquisa de doutorado em psicologia de um pesquisador dos Estados Unidos e faz uma reflexão acerca de como os drones, na visão desse pesquisador, irão modificar o cotidiano da humanidade, sendo que possivelmente teremos uma nova era, a exemplo da Revolução Industrial, Era do Bronze e outras mais.

Apesar de parecer exagerado, hoje já é possível encontrar drones nas mais diversas aplicações nos setores como segurança, meio ambiente, indústria, agropecuária, serviços e uso pessoal. Isso foi apontado por Yepes e Barone (2018a), os quais apresentaram um panorama sobre as possíveis aplicações desses equipamentos. O mesmo é evidenciado na pesquisa de Abichandani *et al.* (2024) os quais destacam ainda a crescente necessidade do mercado por profissionais para pilotagem, desenvolvimento, fabricação, reparo e programação de drones. Kotarshi e Kasać (2018), por sua vez, destacam que tarefas como entrega de um kit de primeiros socorros, combate a incêndio, inspeção de infraestrutura, vídeo aéreo e muitas outras coisas passaram a ser executadas com esses equipamentos.

A Drone Industry Insights (DRONEII), empresa especializada no setor de drones, em um documento de 2021,

prevê que até 2026 o mercado mundial de drone representará US\$ 41,3 Bi, divididos em 3 segmentos: Hardware; *Software*; e Serviços. Respectivamente estes segmentos representam 16,4%, 4,3% e 79,3% desse montante (Droneii, 2021).

Segundo DroneShow Robotics, no Brasil, a utilização de drones na agricultura, tem ganhado destaque com um crescimento fortíssimo nos últimos anos e com projeção para dobrar nos próximos 2 ou 3 anos (Mercado de drones agrícolas, 2024).

No Brasil, o Decea (Brasil, 2024a) publicou os números referente ao uso do Sistema de Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS) o qual destaca que em 2024 houve um novo recorde de voos de drones registrados, ultrapassando a marca de 405 mil requisições de voos para UA acima de 250 gramas, ante às 242 mil requisições registradas em 2021, o que corrobora com o crescimento previsto pela DRONEII, uma vez que basicamente esses voos representam apenas o mercado de serviços. Em termos percentuais, essa variação representou um crescimento de 67,35% no número de requisições de voo.

No capítulo a seguir serão apresentados os aspectos legais e normativos inerentes aos drones, trazendo alguns cuidados sobre esta perspectiva.

ASPECTOS LEGAIS

Este capítulo detalha os aspectos legais que envolvem a utilização de drones no Brasil. Apresenta os órgãos reguladores como o Decea, Anac, Anatel e Mapa, cada um com suas competências específicas. Explica as normas aplicáveis, como a Lei Federal nº 7.565 de 1986 (Código Brasileiro de Aeronáutica) e o RBAC-E nº 94 da Anac, além de instruções e manuais do Decea e portaria do Mapa. Aborda os diferentes tipos de voos (*Visual Line of Sight – VLOS; Extended Visual Line of Sight – EVLOS; Beyond Visual Line of Sight – BVLOS*), as classes de drones conforme o Peso Máximo de Decolagem (PMD), e as regras para operar drones de forma legal e segura no espaço aéreo brasileiro.

3.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Em função de ser considerado uma aeronave, cada país regulamenta e define regras específicas para a utilização e operação desses equipamentos. Neste sentido, iniciamos trazendo o que as autoridades brasileiras definem no contexto

de uso desse equipamento, reconhecendo quais são estas autoridades e quais papéis elas desempenham.

3.1.1 Órgãos Reguladores no Brasil

No Brasil existem quatro órgãos que regulam a operação de drones. Como visto, há o DECEA, que é o órgão do Comando da Aeronáutica e tem como responsabilidade gerir o espaço aéreo, à proteção ao voo, ao serviço de busca e salvamento e às telecomunicações do Comando da Aeronáutica, sendo o órgão central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB). Além disso, é responsável pelo Sistema para solicitação de acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Não Tripuladas (SARPAS) (Brasil, 2023a).

É de competência do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), Órgão Central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), legislar acerca dos procedimentos para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro, cabendo aos demais Órgãos Reguladores o trato do assunto das respectivas áreas de atuação (Brasil, 2023a, p. 9).

Além do DECEA, há a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). Esse último versa especificamente a respeito dos drones agrícolas, no que tange “à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes” (Brasil, 2021). Já a Anatel

trata da homologação dos sinais de radiofrequência, enquanto a Anac mantém o cadastro de operadores e equipamentos.

3.1.2 Normas aplicáveis

Como visto, existem vários órgãos que regulam a utilização de drone e também que acabam criando diversas normas sobre esse respeito. Aqui, iremos nos ater a informar quais normas e para que servem cada uma, não tendo como pretensão esgotar esse assunto, e tão pouco compilar tudo que há, mas apresentar o básico de modo de servir como ponto de partida para dúvidas mais técnicas a respeito de cada assunto ou item.

Como mencionado na própria ICA³ 100-40 de 2023, essas legislações são consideradas “documentos vivos” que têm como objetivo manter-se atualizado passando por revisões sistemáticas a fim de garantir a adequação às mudanças e avanços tecnológicos sobre a aviação civil.

Esta publicação [...] foi editada, basicamente, com o objetivo de atualizar o seu conteúdo em conformidade com as diretrizes da OACI, bem como atender às demandas desse novo segmento aeronáutico em prol da segurança dos usuários do espaço aéreo, seguindo a premissa de ser apresentada como um “documento vivo” por meio do qual as boas práticas acompanham a evolução da tecnologia e o amadurecimento do Setor, sem, contudo, degradar a segurança das Operações Aéreas. O mesmo acontecendo com o Sistema

3 Instrução do Comando da Aeronáutica.

para Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro (Brasil, 2023a, p. 7).

Essa postura vai ao encontro do que é posto por Tuğrul (2023) que enfatiza que o uso de drones comerciais e pessoais vem crescendo, o que força à mudança de normas constantemente, a fim da inclusão de novas regras, sendo que essas regulamentações são tratadas de forma distinta entre os países.

Por esse motivo, apresentamos no quadro 1 um compilado das principais legislações vigentes a que se submete usuário/piloto ao alçar voo com esse tipo de equipamento, seja referente aos dispositivos ou ainda ao modo de voo ou contexto de utilização.

Quadro 1 — Lista de legislações pertinentes ao uso de drones

Órgão/ Autor	Número da Legislação	Data da Publicação	Descrição/Use
Brasil	Lei Federal nº 7.565/1986	de 19 de dezembro de 1986	Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica
Anac	RBAC-E Nº 94, EMENDA Nº 03	de 02 de maio de 2023	Aborda os requisitos gerais de competência da ANAC para aeronaves não tripuladas
Decea	ICA 100-36	de 04 de junho de 2025	Define o processo de solicitação para o Uso Especial do Espaço Aéreo
Decea	ICA 100-40	18 de março de 2026, vigência em 1º de julho de 2026	REEDIÇÃO da ICA 100-40, Instrução sobre “Aeronaves não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”

Mapa	Portaria nº 298	de 22 de Setembro de 2021	Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes
------	-----------------	---------------------------	---

Fonte: Os autores (2025).

3.1.3 Operando “drones”

Como mencionado na subsecção anterior, o Ministério da Defesa, por meio do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea), define grande parte das regras e normas para utilização desses dispositivos robóticos voadores. O próprio Ministério da Defesa segue algumas normas e padrões internacionais, a exemplo da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), responsável pela padronização do setor aeronáutico civil internacional. A Anac também tem papel fundamental, uma vez que regula a Aviação Civil, estando em igual papel junto ao DECEA no que tange o assunto drones/RPA. Assim, para compreender os drones é necessário entender como eles são classificados e como estas classificações influenciam nos aspectos legais e consequentemente nos aspectos de pilotagem e de permissões de voos.

Além da classificação da aeronave e da finalidade da operação, o uso de drones em ambiente externo exige atenção aos prazos de solicitação de acesso ao espaço aéreo por meio do SARPAS. A ICA 100-40 de 2026 estabelece diferentes

prazos de antecedência conforme o tipo de operação, o peso máximo de decolagem, a altura pretendida, o modo de voo e a existência ou não de interseção com áreas restritas ou condicionadas (Brasil, 2026).

Em regra, operações enquadradas na categoria aberta, realizadas com UA de PMD menor ou igual a 25 kg, em VLOS, até 400 pés ou 120 metros acima do nível do solo e sem interseção com FRZ ou EAC classificado como TRA, TSA ou área restrita, podem ser solicitadas com antecedência mínima de 30 minutos. Também se enquadram nesse prazo algumas operações de menor impacto operacional, como aquelas realizadas em Área Adequada ou em Zona UTM, conforme previsto na norma (Brasil, 2026).

Já operações que, embora realizadas com UA de PMD menor ou igual a 25 kg, em VLOS e até 400 pés, possuam interseção com FRZ ou EAC classificado como TRA, TSA ou área restrita, exigem solicitação com antecedência mínima de quatro dias corridos. Esse mesmo prazo se aplica, em regra, às operações de aerolevanteamento e às operações que envolvam área de voo superior a 100 km² (Brasil, 2026).

Por sua vez, operações com UA de PMD maior que 25 kg, operações BVLOS, voos acima de 400 pés, operações atípicas ou aquelas que exijam divulgação por Produto AIS devem ser solicitadas com antecedência mínima de oito dias corridos (Brasil, 2026).

Dessa forma, no contexto educacional, o professor ou responsável pela atividade deve planejar previamente o voo, pois a viabilidade da atividade não depende apenas da disponibilidade do drone ou do espaço físico da escola, mas também do enquadramento operacional da atividade e do prazo exigido para autorização no SARPAS.

Além dos prazos de solicitação de acesso ao espaço aéreo, a legislação brasileira também classifica e define critérios diversos sobre a utilização de drones. Para compreender essas classificações e critérios, é necessário considerar os tipos de voo, as classes da aeronave, o peso máximo de decolagem, as características da operação e as exigências estabelecidas pelos órgãos competentes.

3.1.3.1 Regras de tipos de voos com drones

No conceito de pilotagem de drones, existem 3 tipos de operação que são caracterizados pela legislação e que são importantes pois influenciam no processo de autorização de voo desses equipamentos (Anac, Agência Nacional da Aviação Civil, 2017): VLOS; EVLOS; BVLOS;

Figura 1 — Tipos de voo: a) VLOS; b) EVLOS; c) BVLOS



Fonte: Os autores (2025)⁴.

O primeiro tipo citado, Figura 1a), é a operação em condições meteorológicas visuais (VMC) em que o piloto não necessita de qualquer auxílio para manter o contato visual com a aeronave. A sigla VLOS, acrônimo do termo inglês *Visual Line of Sight* que significa Operação em Linha de Visada Visual. Nesse tipo de voo o piloto mantém contato visual constante com a aeronave não necessitando de qualquer tipo de instrumento ou equipamento para isto (Brasil, 2023e).

O Segundo tipo de pilotagem citado, Figura 1b), a operação EVLOS, Operação em Linha de Visada Visual Estendida (*Extended Visual Line of Sight*) depende do auxílio

4 Imagem gerada pela IA Manus (<https://manus.im>).

de um ou mais observadores para preservar a segurança do voo. Assim, ele submete-se a todos regramentos do sistema de pilotagem anterior, VLOS, mas necessita de pessoas auxiliares para observarem a aeronave (Brasil, 2023e). Para garantir esse tipo de operação, a norma define que a comunicação entre o Observador de RPA e o piloto remoto deve ser permanente (Brasil, 2023e).

Por fim, a legislação define o BVLOS, Figura 1c), para todas as demais condições em que não é possível atender os padrões de pilotagem VLOS e EVLOS. Sua sigla significa Operação Além da Linha de Visada Visual (*Beyond Visual Line of Sight*) (Brasil, 2023d). Para voos com essa característica o equipamento deve atender uma série de requisitos descritos na RBAC-E nº 94.

Há ainda a Visão em Primeira Pessoa (*First Person View*) que se caracteriza pela utilização de dispositivos, como óculos que permitem uma visualização da câmera do drone como se o piloto estivesse dentro da UA. Quando o piloto remoto utilizar óculos FPV, ou quando houver operação VLOS estendida, é obrigatório o auxílio de observador de UA. A utilização de óculos FPV ou a realização de VLOS estendida sem observador caracteriza operação BVLOS, nos termos da ICA 100-40 de 2026 (Brasil, 2026).

Outra situação que se deve observar são as Operações Atípicas, a exemplo de voos simultâneos (multidrones), e corrida ou competições (*Drone Racing*). Nesses casos deve-

se solicitar parecer favorável ao Gerenciador de Tráfego Aéreo (em inglês *Air Traffic Management - ATM*) Regional. Observa-se ainda que esses tipos de voos são exclusivos para aeronaves com peso máximo de decolagem (PMD) de até 25kg (classe 3), operando em VLOS com altura máxima de voo de 120 metros (Brasil, 2023a). Operações desta natureza devem observar o prazo mínimo de solicitação previsto na ICA 100-40 que, em regra, é de oito dias corridos (Brasil, 2026).

3.1.3.2 Classes de drones

Os drones ou RPAs estão divididos em 3 classes, de acordo com o PMD da aeronave: classe 1; classe 2; classe 3, excetuando-se os aeromodelos que possuem legislação específica além de submeterem-se às normas da classe 3 com algumas exceções. Há também exceção para os drones agrícolas que também são considerados classe 3, independente do seu PMD.

Quadro 2 — Classe de drone e suas especificidades.

Exigências	Classe 1	Classe 2	Classe 3 ⁵		
			< 25 kg	>250g	Aeromodelo ⁶
PMD	≥ 150 kg	≥ 25 kg e < 150 kg	< 25 kg	>250g	Aeromodelo ⁶
Maior de 18 anos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

5 Inclui-se UA destinadas a utilização agrícola, porém, com critérios de voo específicos.

6 Aeromodelos não possuem restrição de peso, porém pertencem a classe 3.

Seguro com cobertura de danos a terceiros	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Certificado médico aeronáutico	Sim	Sim	Não	Não	Não
Registro de voo SARPAS	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Cadastro do equipamento na Anatel	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Cadastro do equipamento na Anac (SISANT)	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Licença e habilitação ⁷	Sim	Sim	Não	Não	Não
Uso de <i>transponder</i> ⁸	Sim	Sim	Não	Não	Não

Fonte: Os autores (2025).

O PMD de uma aeronave trata-se do peso máximo de decolagem que uma UA pode ter e voar com segurança. Conforme a norma ICA 100-40:

O PMD independe de a aeronave estar equipada ou não com seus acessórios. Por exemplo, se uma aeronave é capaz de decolar e realizar um voo seguro, estando equipada com um protetor de hélices e o uso desse acessório deixa a aeronave com um peso de 255 g, o PMD da aeronave é de, no mínimo, 255 g, independentemente de estar voando com ou sem o acessório do exemplo (Brasil, 2023a, p. 16).

Conforme a ICA 100-40 que passa a vigorar a partir de 1º de julho de 2026, nenhuma Aeronave Não Tripulada

7 Mesmo para drones de classe 3, é necessário licença e habilitação para voos acima de 400 pés (120 metros aproximadamente).

8 Drones de classe 3 estão dispensados se operar em VLOS e até 120 metros de altura de voo.

(UA), inclusive aquelas com PMD até 250 g, pode acessar o Espaço Aéreo Brasileiro sem autorização do Estado Brasileiro. Como regra geral, o acesso deve ser solicitado por meio do SARPAS, observadas as exceções previstas na própria norma, como as operações recreativas realizadas em Espaço Aéreo Condicionado destinado à recreação (Brasil, 2026).

Ainda, para voos realizados em ambientes fechados (*indoor*):

Os voos realizados em área confinada são de total responsabilidade do proprietário da estrutura ou do locatário do imóvel e deverão estar autorizados pelo mesmo, já que não são considerados 'espaços aéreos' sob a responsabilidade do DECEA, não sendo regulados por esta Instrução (Brasil, 2023a, p. 31-32).

Quando nos referimos à UA, dada pela RBAC-E nº 94, temos a exceção que diz que:

Os RPAS durante a aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes sobre áreas desabitadas são classificados para fins deste regulamento como Classe 3, independentemente do peso máximo de decolagem da RPA, desde que operando VLOS ou EVLOS e até 400 pés AGL⁹ (Brasil, 2023d).

Por fim, os aeromodelos são UA com finalidade de recreação, submetendo-se aos regramentos MCA 56-2 que os classifica da seguinte forma:

9 Above Ground Level (Acima do nível do solo).

O que distingue as regras a serem aplicadas para Aeromodelos e demais aeronaves não tripuladas é a sua natureza. Assim, deve ser entendido de forma clara que **não são autorizados voos não recreativos, utilizando as regras específicas para aeromodelismo, constantes neste Manual** (Brasil, 2023b, p. 22, grifo do autor).

Isso implica que seus voos devem ser realizados em espaços destinados ao aeromodelismo, espaços estes definidos como Espaço Aéreo Condicionado (EAC) destinado ao Aeromodelismo. Entretanto, quando não houver esses espaços, deverá seguir os regramentos de solicitação de espaço aéreo via Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS) para aeronaves com mais de 250g, estando as menores dispensadas da solicitação, mas não dispensadas de seguir as regras expressas na norma MCA 56-2 (Brasil, 2023b).

Outro aspecto importante é a respeito do registro dos drones junto à Anac.

Conforme previsto no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E) no 94, na Subparte D – REGISTROS E MARCAS, Parágrafo ‘b’, todo aeromodelo com PMD acima de 250 g DEVE SER CADASTRADO na ANAC e vinculado a uma pessoa (física ou jurídica, com CPF ou CNPJ no Brasil) que será a responsável legal pela aeronave (Brasil, 2023b, p. 21).

Este cadastro deve ser realizado no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT) para toda e qualquer UA com PMD superior a 250 gramas, indistintamente se o equipamento é para uso recreativo (aeromodelo) ou não (RPA)

(Anac, Agência Nacional da Aviação Civil, 2017). O sistema irá gerar uma identificação para a aeronave, com um prefixo PP para usos não recreativos, PR para usos recreativos e PS para aeronaves de uso específico, seguido por um número de 9 dígitos escolhido pelo requerente (Brasil, 2025).

Para mais informações sobre as condições de operação de aeromodelos e UA, deve-se obter na norma MCA 56-2 e no sítio eletrônico do Decea.

OS ASPECTOS FÍSICOS E TECNOLÓGICOS DE UM DRONE

A capítulo 3 explora a arquitetura fundamental dos drones, detalhando as diversas plataformas como asas fixas e rotativas, e seus respectivos benefícios e desvantagens. Descreve os diferentes arranjos de propulsão, desde configurações simples até coaxiais, e a importância do sentido de rotação dos motores para a estabilidade do voo. Aborda os seis graus de liberdade de movimento de um drone, essenciais para o seu controle, e a composição básica de um drone, incluindo seus componentes internos como a controladora, sensores (giroscópio, acelerômetro, magnetômetro, etc.), ESCs, motores, hélices e baterias. Além disso, menciona a importância da comunicação entre o drone e a estação de controle e os diferentes tipos de comunicação utilizados.

4.1 ARQUITETURA DE UM DRONE

Atualmente, existem vários tipos de plataformas ou frames de UAVs, em diferentes estágios de pesquisa,

desenvolvimento e aplicação, sendo elas asas rotativas, asas fixas, asas oscilantes, dirigível e híbridos. Essas plataformas nada mais são do que a arquitetura mecânica do equipamento (Tuğrul, 2023).

Porém, basicamente podemos classificar os drones em 2 tipos de plataforma que são amplamente utilizados e que estão disponíveis no mercado de forma mais acessível: asas fixas e asas rotativas.

As UA de asas fixas são similares às aeronaves convencionais. Possuem um ou mais motor/rotor para gerar propulsão, mas são suas asas fixas que o sustentam no ar. Possuem a característica de que se movem somente para frente, o que também define sua principal desvantagem, uma vez que não pode voar em um ponto fixo (pairar). São mais eficientes porque não necessitam de energia adicional para permanecer voando, permitindo a cobertura de distâncias maiores (Tuğrul, 2023). Por outro lado, as UAs de asas rotativas, são aeronaves que dependem principalmente da sustentação gerada por um ou mais rotores para poder voar (Brasil, 2024b), isso permite uma capacidade de realização de decolagem e pouso verticalmente, também conhecidos como VTOL, acrônimo dos termos em inglês *Vertical Take-Off and Landing*, permitindo voos estacionários e a baixa velocidade (Kotarski; Kasać, 2018) em contraposição às UAs de asa fixa que necessitam manter o movimento para continuar sustentando-se no ar.

Os demais tipos de plataformas do tipo híbridos, asas oscilantes e dirigíveis, são aeronaves não tripuladas desenvolvidas para poder decolar verticalmente utilizando multirotores e depois converter-se em uma aeronave de asa fixa, por exemplo. Ou ainda utilizam balão de ar quente ou com gás mais leve que o ar para gerar sustentação de decolagem e pouso, como no caso dos dirigíveis. Porém, esses tipos de aeronaves não serão abordados neste documento.

Figura 2 — Modelos de drone: a) Asa fixa; b) Asa rotativa



Fonte: Os autores (2025)¹⁰.

10 Imagem gerada pela IA Manus (<https://manus.im>).

A Figura 2 ilustra algumas dessas possibilidades, apresentando primeiramente (2a) drones de asa fixa. Já as UAs seguintes (2b), são todas de asa rotativa, caracterizados como VTOL, permitindo decolagem e aterrissagem vertical.

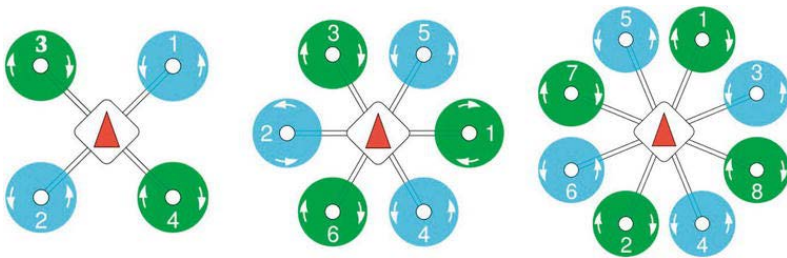
4.1.1 Arranjos de propulsão

Para um drone voar, sempre se deve ter em mente que seus propulsores devem ser suficientemente fortes para superar a atração da gravidade e assim alçar voo. Todo projeto está limitado pelo consumo energético, pelo tamanho e pelo seu peso. Isso implica afirmar que para os vários arranjos utilizados, cada um conta com uma vantagem ou desvantagem, sendo que as vantagens e desvantagens devem ser levadas em conta em função dos ganhos e perdas que cada um traz em função do que se pretende com o equipamento. Além disso, conforme o número de rotores, atribuem-se diferentes nomes para cada drone: *Quadcopter*, *Hexacopter* e *Octocopter* são os tipos de UAs de acordo com o número de rotores disponíveis no drone (Rahman *et al.*, 2024). Ademais, os drones de asas rotativas, possuem uma estrutura rígida e simétrica, sendo que sua sustentação se dá por meio da velocidade angular dos rotores. Desse modo, para que a UA voe o sistema deve gerar uma propulsão a partir do aumento de velocidade dos rotores (Kotarski; Kasać, 2018).

Para melhor ilustrar essas organizações, as figuras 3 e 4 apresentam os principais arranjos de motores/rotores de

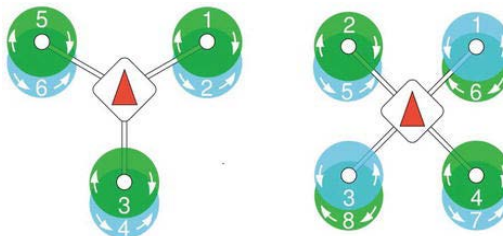
drones encontrados no mercado, sendo estes divididos em dois grupos. O primeiro, Figura 3, remete-se aos drones com arranjos simples de rotores. São UAs que possuem rotores apenas na parte superior de seus braços de sustentação ou somente na parte inferior, não havendo sobreposição (Kotarski; Kasać, 2018). Na Figura 4, porém, são apresentados os UAVs com arranjos coaxiais, ou seja, onde há tanto rotores na parte superior, quanto rotores na parte inferior dos braços de sustentação (Kotarski; Kasać, 2018).

Figura 3 — Arranjos de propulsão simples ou convencional



Fonte: Kotarski; Kasać (2018, p. 50).

Figura 4 — Arranjos de propulsão coaxial



Fonte: Kotarski; Kasać (2018, p. 51).

As figuras ainda apresentam outra informação importante sobre a aerodinâmica do voo de um drone de asa fixa: o sentido de rotação dos motores. Como visto nas figuras 3 e 4, os rotores são organizados de modo que a força da rotação dos rotores anule-se, sendo que um gira em um sentido, enquanto o outro gira em sentido oposto, geralmente de forma cruzada, para os drones convencionais. Para os arranjos de propulsão coaxial, os rotores giram em cada extremidade um para um sentido e na outra para o outro sentido. Isto se faz necessário para evitar que o equipamento entre em colapso em função da força de rotação (Kotarski; Kasać, 2018).

4.1.2 Graus de liberdade de voo

Independente da organização dos motores ou da arquitetura de um drone, seja de asa fixa ou asa rotativa, toda UA possui ao menos seis graus de liberdade (em inglês *degrees of freedom*) (6-DOF) quando a Unidade de Medição Inercial (*Inertial Measurement Unit* — IMU) possui apenas giroscópio e acelerômetro e 9-DOF quando, além desses dois sensores anteriores ainda possui magnetômetro (bússola). A Figura 5 ilustra os 6 movimentos que os eixos podem assumir sendo 3 referentes a posição ou deslocamento (Kotarski; Kasać, 2018):

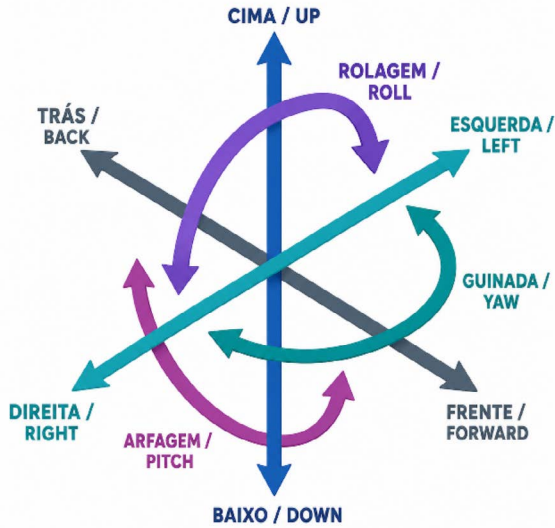
- a. surge para o eixo x, representando os movimentos de ir para frente ou ir para trás (*back* ou *forward*);

- b. *sway* para o eixo y, representando os movimentos de ir para direita ou ir para a esquerda (*right* ou *left*);
- c. *heave* para o eixo z, representando os movimentos de ir para cima e ir para baixo (*up* ou *down*).

Os outros 3 movimentos possíveis referem-se à rotação em torno dos eixos e estão relacionados aos ângulos de Euler (Aquino *et al.*, 2017; Kotarski; Kasać, 2018):

- a. *yaw* para o eixo z, representando os movimentos de giro do plano horizontal, eixo normal, que é a rotação do drone como um todo em torno do eixo z, permitindo o giro para direita ou para a esquerda;
- b. *pitch* para o eixo x, representando os movimentos de giro do plano vertical transversalmente em torno do eixo x, permitindo que o drone incline-se para frente ou para trás;
- c. *roll* para o eixo y, representando os movimentos do plano vertical longitudinalmente, que permite que o drone se incline para direita e para a esquerda.

Figura 5 — Esboço dos 6 graus de liberdade (6-DOF) de um corpo rígido no espaço tridimensional



Fonte: Os autores (2025)¹¹

4.1.3 Composição de um drone

Um drone, como praticamente tudo no universo, é um conjunto organizado de partes que são orquestradas de modo a permitir que ele voe. Existem partes fundamentais que não podem faltar e outras que não são essenciais e que podem ser dispensadas. O que determina o que é ou não imprescindível é a necessidade e a aplicação. Tuğrul (2023) destaca que não existe um designer ideal para drones e que se deve levar em

11 Imagem gerada pela IA ChatGPT (<https://chatgpt.com>).

consideração as características do que se pretende com um UA, seja ele de asa fixa ou asa rotativa. Esses dispositivos devem sempre considerar o equilíbrio entre o seu tamanho, seu peso e o consumo energético.

Basicamente, um drone é composto por quatro componentes básicos: hélice, motor, corpo (frame) e placa de voo (Tuğrul, 2023). Na Figura 6, vemos um drone básico a partir da perspectiva externa apresentando: 1) corpo principal; 2) braços; 3) hélices; 4) antena; 5) câmera; 6) bateria; 7) motores; e 8) estabilizador de câmera. Esta configuração não é fixa e pode variar entre modelos, marcas e até mesmo propósito de utilização, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 6 — Anatomia de um drone



Fonte: Uniles¹².

12 Disponível em: <https://umilesgroup.com/en/what-are-the-parts-of-a-drone-full-list/>. Acesso em: 23 fev. 2025.

O corpo principal e os braços podem ser considerados o frame e conseqüentemente determina a plataforma ou arquitetura de um drone (asa fixa, asa móvel, híbrido, etc). A Figura 7 apresenta um drone que utiliza uma arquitetura aberta [de *microchip*], baseada em ESP32, fornecida pela empresa *Espressif* (*Espressif Systems (Shanghai) PTE LTD, 2024*).

Figura 7 – *Drone ESP-Drone*



Fonte: *Espressif*¹³.

Esse drone é caracterizado por sua estrutura simples sendo composto por uma única placa, que é o próprio corpo do drone, quatro motores com suas respectivas hélices e uma bateria 1s (*Espressif Systems (Shanghai) PTE LTD, 2024*).

A fim de exemplificar na Figura 8, observamos algumas ilustrações de possibilidades de arquiteturas desenvolvidas

13 Disponível em: <https://espressif-docs.readthedocs-hosted.com/projects/espressif-esp-drone/en/latest/gettingstarted.html#esp-drone-overview>. Acesso em: 29 jan. 2025.

que são mais comumente encontradas e algumas propostas que estão sendo desenvolvidas.

Figura 8 — Tipos de estrutura de drones



Fonte: *Freepik* (Desenhado por macrovector)¹⁴.

Internamente a um drone podemos dizer que há o “cérebro” do equipamento que nada mais é do que um ou mais circuitos eletrônicos responsáveis pelo controle dos motores e comunicação, bem como a transmissão de imagens em alguns casos (Aquino *et al.*, 2017). A complexidade desses

14 Disponível em: <http://www.freepik.com>. Acesso em: 24 jan. 2025.

circuitos eletrônicos está intimamente ligada à sua capacidade de voo e à sua aplicação, e aos sensores disponíveis. Um UA pode possuir uma placa controladora única, contendo os controladores dos motores, como visto anteriormente na Figura 7, e alguns poucos sensores ou ser separado em vários outros sub-circuitos responsáveis por funções específicas. Na capítulo seguinte, apresentaremos brevemente alguns desses circuitos mais importantes, porém sem pretensão de esgotá-los, uma vez que a todo momento novos recursos são implementados e integrados a projetos de drones.

4.1.4 Controladora

As controladoras são indispensáveis nos UAs. São para os drones da mesma forma que as placas-mães são para os computadores. Podem ser uma placa contendo todos os elementos necessários para o funcionamento de um drone, desde os controladores dos motores até a comunicação, além de portar os *softwares* com os algoritmos necessários para controle do voo, ou ser uma placa que integra esses diversos sub-circuitos necessários ao funcionamento do drone (Tuğrul, 2023).

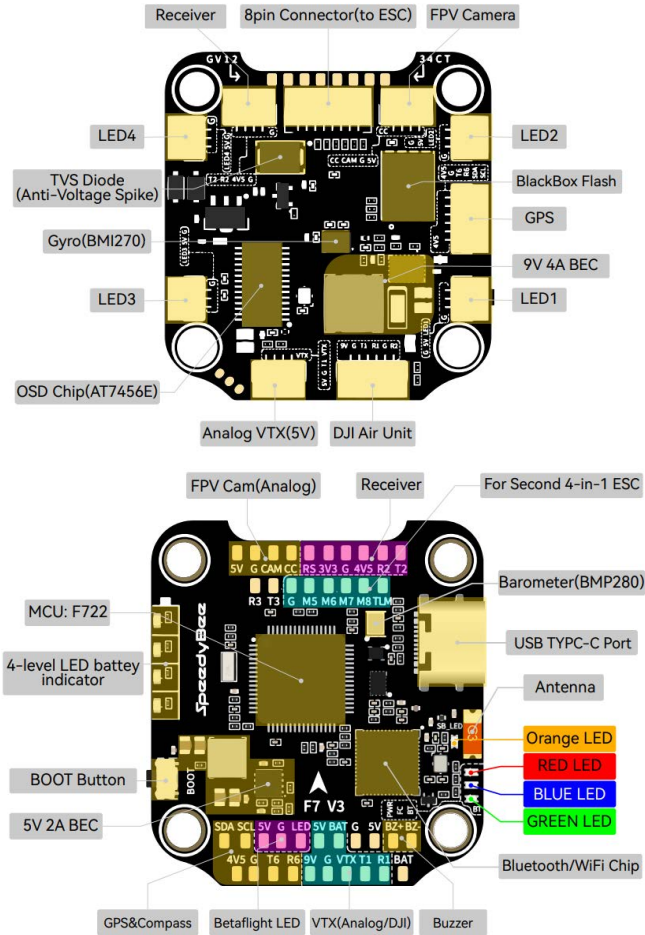
Geralmente possui microprocessador, giroscópio e acelerômetro, sendo esses dois últimos fundamentais para o sucesso e controle do voo de um drone, porém encapsulado dentro de um sub-circuito definido como IMU (*Inertial*

Measurement Unit, ou Unidade de Medição Inercial) (Aquino *et al.*, 2017; McGriffy, 2017).

A título de exemplo, a Figura 9 ilustra ambos os lados de uma controladora *Speedybee F7 V3*. Ela é composta por uma série de terminais disponíveis para conexão de leds, GPS, câmera FPV (*First Person View* ou Visão em Primeira Pessoa), comunicação com vídeo analógico, câmera da DJI e conexão USB¹⁵ tipo C, necessários para adicionar novos recursos ou funcionalidade. Além disso, ela possui um *chip* MCU (*microcontroller unit*, ou unidade de microcontrolador) que nada mais é do que o processador da placa, um *chip* de comunicação *Bluetooth/Wi-Fi*, e um *chip* Gyro o qual integra um giroscópio e um acelerômetro em um único dispositivo. Este último *chip* é responsável pelas medições de ângulo e velocidade nas 3 direções (X, Y, Z) (Aquino *et al.*, 2017; McGriffy, 2017).

15 *Universal Serial Bus*

Figura 9 — Controladora de voo



Fonte: Speedybee¹⁶.

16 Disponível em: <https://www.speedybee.com/speedybee-f7-v3-flight-controller/#Manual>. Acesso em: 23 jan. 2025.

4.1.5 Sensores

Em se tratando de sensores, como visto na subseção anterior, há uma grande variedade, integrados diretamente à placa controladora ou não, sendo que os mais comumente encontrados são os sensores responsáveis pela obtenção da posição do drone em relação ao plano terrestre e de estabilidade: sensores do Sistema de Navegação Global via Satélite (*Global Navigation Satellite System* – GNSS); sensores altimétricos (barômetro, sensores de ultrassom; sensores de distância laser); giroscópio; acelerômetro; magnetômetro; e sensores ópticos (McGriffy, 2017; Tuğrul, 2023).

Desses sensores os três mais relevantes, responsáveis por permitirem que um drone voe e que juntos dão a característica de um sistema de nove graus de liberdade ou 9-DOF (*degrees of freedom*) são o giroscópio, o acelerômetro e o magnetômetro. Estes sensores por sua vez compõem a IMU uma vez que a partir da junção das informações fornecidas por estes dispositivos eletrônicos é possível que o sistema realize ajustes e evite o colapso do voo (McGriffy, 2017; Tuğrul, 2023). McGriffy (2017) porém, faz-se uma ressalva a respeito desta conjunção de sensores. Em sistemas mais simples é possível encontrar apenas o giroscópio e o acelerômetro, criando o que é conhecido como sistema de seis graus de liberdade ou 6-DOF.

No quadro 3, descreve-se qual a função de cada um dos sensores mencionados, não se esgotando as informações

a respeito, mas um mínimo necessário para reconhecer sua importância e funcionamento.

Quadro 3 — Sensores e suas funções

Sensor	Função
Sensores do Sistema de Navegação Global via Satélite (GNSS)	Estes sensores dão ao drone sua posição tridimensional em relação à superfície do planeta a partir de sinais de satélites. Além disso, permitem ao drone retornar à sua origem uma vez que seja registrado pelo equipamento o ponto inicial do voo (McGriffy, 2017).
Barômetro	Este sensor tem como finalidade medir a pressão atmosférica, o que permite definir a altitude do drone com base nesta informação (Aquino <i>et al.</i> , 2017; McGriffy, 2017).
Giroscópio	Tem como finalidade manter o sentido e direção do drone enviando as informações de posição angular para o controle de voo (McGriffy, 2017).
Acelerômetro	Responsável por dar a velocidade com que o drone se move. Para cada direção é necessário haver um sensor. Ele é muito utilizado para correção de erros oriundos do GPS. (McGriffy, 2017).
Magnetômetro	Nada mais é do que a bússola do drone. É a partir deste sensor que é possível estabelecer o sentido da direção em que o drone está voando (McGriffy, 2017).
Ultrassom	Também chamados de sonar, são sensores que permitem medir distância a partir da utilização de emissão/recepção de som. Permitem que o drone evite obstáculos ou calcule sua altura em relação à superfície (McGriffy, 2017).
LiDAR	Proveniente da combinação de luz e radar (<i>Light Detection and Ranging LiDAR</i>), permite medir distâncias, sendo mais eficiente do que os sensores de ultrassom. Permitem que o drone desvie de obstáculos e calcule sua altura em relação à superfície (McGriffy, 2017).
Fluxo óptico	São responsáveis por permitir que o drone fique pairando em um ponto fixo com maior precisão. Exatamente igual à tecnologia utilizada em um mouse óptico. A partir de um fluxo luminoso, o sensor calcula a distância do objeto. De mesmo modo, pode ser utilizado para cálculo de altitude (McGriffy, 2017).

Fonte: Os autores (2025).

4.1.6 Frame

Podendo ser definido como o corpo do drone, faz referência a como a estrutura do drone é disposta. É comparado ao chassi em um computador ou carro, pois todos os demais componentes que compõem UA são encaixados nesta estrutura (Tuğrul, 2023). A Figura 8, vista anteriormente, ilustra algumas possibilidades de drones, porém as estruturas mais comuns atualmente encontradas para drones são as estruturas em “X” com quatro braços estendendo-se do corpo (Tuğrul, 2023) conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 — Estrutura do drone



Fonte: Tuğrul (2023, p.7).

4.1.7 Comunicação

Toda a comunicação entre o drone e a estação de controle, seja um computador, *tablet*, celular ou controle

remoto, dá-se por intermédio de sinais de rádio, sendo este o meio pelo qual o piloto controla sua UA, vê imagens da câmera do drone ou ainda obtém informações de sensores acoplados. Para que esta comunicação seja eficaz, ela é subdividida em canais que permitem o isolamento entre as funções. Uma comunicação básica, na maioria dos drones de hoje tem 6 canais em uso, podendo crescer conforme sensores ou acessórios são adicionados ao drone (Tuğrul, 2023).

4.1.8 Motores

Responsável por girar as hélices e fornecer a força para que o drone voe, os motores são essenciais ao funcionamento do drone, estando diretamente ligado à capacidade de carga e ao mesmo tempo ao aumento de consumo de energia. Dois tipos de motores podem ser utilizados em drones: motores com escova (*brushed*) e os motores sem escovas (*brushless*).

O primeiro tipo são motores mais simples, com escova, mais baratos, e muito utilizados em drones de pequeno porte. Esse tipo de motor é menos resistentes e possuem um tempo de resposta menor e devido às faíscas que produzem não são recomendados para uso em ambientes onde haja risco da presença de itens inflamáveis. Já o segundo tipo, são utilizados em drones profissionais e que demandam maior capacidade de carga. Os motores sem escovas também são mais precisos, e possuem maior resistência, porém possuem

custo mais elevado (Mendoza-Mendoza *et al.*, 2021; Tuğrul, 2023).

4.1.9 ESC (Electronic Speed Controller)

Os ESC ou controle eletrônico de velocidade estão entre a placa controladora e os motores, sendo responsável por controlar a velocidade dos motores individualmente. Existem drones que possuem um ESC para cada motor, e outros em que há um circuito controlando vários ESC (Aquino *et al.*, 2017; Tuğrul, 2023).

4.1.10 Hélices

As hélices são as responsáveis por permitirem que a força do motor seja convertida em força para que o drone consiga voar. Porém é uma das partes mais frágeis das UA, sendo necessário um cuidado maior sobre estas partes. Além disso, podem variar tanto em forma, tamanho ou material (Tuğrul, 2023). Existem diferentes tipos aerodinâmicos de hélices que são adotados para uso em drones (Ng; Cheng, 2019). Outra característica das hélices, referente a sua forma, é a questão do sentido de giro para a qual esta foi desenvolvida. Para que um drone mantenha-se estável, é necessário que a força de giro dos motores seja controlada. Para isso, os motores trabalham em sentidos opostos, o que influencia na característica da hélice (Tuğrul, 2023).

4.1.11 Baterias

Responsáveis por fornecerem energia para todo o sistema de um drone, as baterias são classificadas em 1s, 2s, 3s e assim por diante. Sua composição pode ser de polímero de lítio ou íon de lítio. Para drones leves que demandam uma quantidade de energia menor, geralmente usa-se as baterias do tipo 1s. Porém para equipamentos que demandam uma quantidade maior de energia usa-se baterias de 2s ou mais (Tuğrul, 2023). Seus formatos e tamanhos também são variados. Assim, quanto maior a capacidade da bateria, maior o tempo de voo do drone, porém maior também será seu peso (Aquino *et al.*, 2017). Além disso, são suscetíveis a estragar com facilidade em caso de descarga total ou muito rápida, por exemplo (McGriffy, 2017), o que também a torna um elemento frágil e suscetível a falha com maior frequência.

4.2 TRANSPORTANDO UM DRONE

O transporte de um drone requer atenção por parte de quem o transporta em ao menos dois aspectos. O primeiro, quanto ao respeito à legislação, no que se refere à documentação exigida pelos órgãos reguladores dentro do território brasileiro. Caso o UA tenha PMD superior a 250 gramas, deverá estar devidamente cadastrado na Anac, por meio do sistema SISANT, sendo que a aeronave deverá possuir etiqueta acessível e legível com a identificação gerada pelo

sistema. O equipamento também deverá estar homologado junto à ANATEL, em função de suas frequências de rádio. Em alguns casos especiais, ainda deverá possuir certificação da aeronavegabilidade e de licença e certificação médica do piloto.

O segundo aspecto a ser observado diz respeito à segurança física do equipamento, principalmente sobre o transporte das baterias, quando esse transporte for realizado em voos comerciais. A Anac considera as baterias como item perigoso e desta forma trata este componente (a bateria) de forma diferenciada. Sempre priorize o transporte dos UAs em bagagem de mão e de preferência em estojo apropriado, para uma correta acomodação, evitando danos provocados por esforço mecânico ou choque. Nunca deixe a bateria acoplada ao equipamento, com exceção daqueles equipamentos em que a bateria é integrada, impossibilitando a retirada. Caso não haja um compartimento apropriado para acomodação das baterias, isole os terminais de cada uma delas com fita isolante e as disponha de forma que não se movam e tão pouco fiquem em contato uma com a outra.

Uma boa prática é sempre que for transportar o equipamento, deixe as baterias com no máximo 30% de sua carga total. Outro ponto é o tamanho da bateria, uma vez que Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), criou restrições para baterias acima de 160Wh para baterias de Íon de Lítio, sendo proibido seu transporte em aeronaves (Anac, Agência Nacional de Aviação Civil, 2016). Já para baterias de

menor capacidade, podem haver restrições quanto ao número de baterias que cada usuário poderá transportar. Além disso, cada transportadora ou companhia aérea pode adotar regras próprias sobre o transporte desse tipo de equipamento, sendo sempre necessário uma consulta prévia para evitar surpresas.

4.3 OPERANDO UM DRONE

Quando falamos em operação de um drone, temos de nos lembrar da Estação de Controle de Solo, em inglês *Ground Control Stations* (GCS) ou ainda Estação de Pilotagem Remota, que nada mais é do que os equipamentos e aplicativo de *software* executado em um computador, telefone ou transmissor terrestre, que se comunica com o UAV por telemetria sem fio ou cabo USB utilizado para sua pilotagem (ArduPilot Plane, 2024; Brasil, 2023a). Tem como função apresentar informações em tempo real do equipamento, tais como desempenho, posição, entre outros, de acordo com os instrumentos e sensores disponíveis da UA de modo a servir como um “*cockpit* virtual”. Além disso, também pode ser utilizado para controlar o drone durante o voo, enviando novos comandos de missão e redefinição de parâmetros. Outra função, mais comumente conhecida, é a de monitoramento da transmissão de vídeo ao vivo das câmeras de um drone (ArduPilot Plane, 2024).

Quando tratamos de drone comerciais, tais como os drones da DJI, Xiaomi, XAG, e tantos outros, cada fabricante disponibiliza o GCS compatível com seu respectivo drone, a exemplo do DJI GS PRO que permite personalizar missões de voo, visualização de mapas para planejamento de voo, definição de parâmetros de voo, definição de cerca virtual, e muito mais (SZ DJI Technology Co., 2025).

Porém, quando tratamos de drones construídos por meio de plataformas abertas, como por exemplo os baseados em hardware CubePilot Cube e variações do Pixhawk, e até mesmo algumas plataformas fechadas, com hardwares proprietários, como SpeedyBee, Diatone, entre outros, existe uma grande variedade de aplicativos disponíveis que funcionam como GCS tanto para serem executados em computadores, quanto para execução em *tablets* e celulares, tais como: Mission Planner, APM Planner 2, MAVProxy, QGroundControl, UgCS, Tower (DroidPlanner 3), MAVPilot, AndroPilot e o SidePilot. Desses GCS listados, os últimos 6 são compatíveis ou exclusivos para execução em dispositivos móveis (ArduPilot Plane, 2024).

Contudo, a maioria dos usuários iniciantes ou que utilizaram um drone em sala de aula como recurso didático para explicar conteúdos de matemática ou física, por exemplo, não precisarão conhecer ou usar tais aplicações. Basta ater-se aos aplicativos e controles que são disponibilizados com os respectivos drones, sem a necessidade de grandes configurações ou de ter algum conhecimento avançado para

programar ou adaptar tais aplicativos aos seus drones. Assim, a seguir iremos mostrar como a grande maioria dos usuários interagem com suas UAs permitindo que estes alcancem seus objetivos sem muito esforço.

4.3.1 Operando um drone a partir de controle remoto ou aplicativo

Como visto no capítulo anterior, o GCS é o conjunto de *software* e *hardware* que permite controlar seu drone realizando a comunicação via transmissão de rádio. Para controlar um drone comum, ou seja, drone pequeno destinado a voos recreativos ou educacionais, e até mesmo alguns drones comerciais, há basicamente dois modos de se fazer isso: via aplicativo ou via dispositivos portáteis, mais comumente conhecidos como controle remoto (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016).

Esses modos podem ser subdivididos em três formas para se controlar um UAV: a primeira via celular ou *tablet*, utilizando a tela do dispositivo para realizar as manobras sem a necessidade de qualquer dispositivo adicional, conectando-se ao drone via uma rede *Wi-Fi* disponibilizada pelo próprio drone; a segunda via dispositivos baseados em *joysticks* e botões, similar aos controles utilizados em videogames, podendo necessitar de um dispositivo adicional ou não (celular, *tablet*) para fins de comunicação com o drone, para visualização de seus parâmetros e para visualização de imagens e vídeos, bem como para a captura de tais recursos; e a terceira, via

programação, seja via blocos ou seja linguagem de código, como *Python*, por exemplo, geralmente dependendo de um computador, tendo a comunicação realizada via *Wi-Fi*.

Vale destacar que cada equipamento possui uma ou mais formas de controle, sendo necessário observar tais características no momento da escolha do equipamento. Cada uma das formas de se controlar um drone possuem seus prós e contras. Por exemplo, controlar um drone utilizando a ponta do dedo na tela de um celular com menos de 6 polegadas de tamanho pode comprometer a precisão do voo. Por outro lado, o voo utilizando um controle com *joysticks* e botões pode ser oneroso em função do consumo de pilha que se faz necessário e quando utilizado conjuntamente com um celular ou *tablet* pode sofrer atrasos nos comandos. Já o controle via programação, além do computador, necessita do conhecimento da linguagem de programação a ser utilizada.

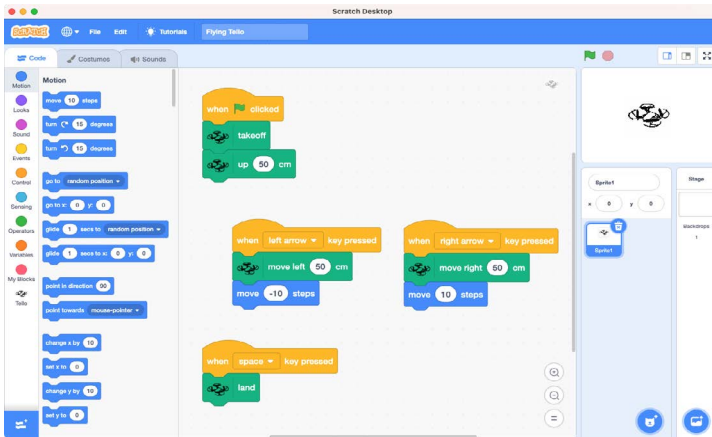
Na Figura 11, vemos a tela do *App*¹⁷ *Scratch3-Tello*, que é uma customização do Scratch 3.0, amplamente utilizada em educação para ensino de programação em blocos, que foi adaptada para atender os drones Tello projetados pelas empresas *Ryze* em parceria com a empresa *DJI*.

Essa aplicação funciona como um GCS, permitindo o planejamento de voos por meio do encadeamento de uma série de rotinas que permitem controlar um *drone Tello*, sendo a programação realizada diretamente no computador. Trata-

17 Application (Aplicativo).

se de um *software* livre que dispensa a necessidade de permissões especiais de uso ou aviso de direitos autorais. Possui como principal vantagem a simplificação do voo, uma vez que não necessita que o operador tenha habilidades de controle do equipamento. Esse aplicativo pode ser instalado em computadores *Windows*, *Linux* ou *MacOS*.

Figura 11 — *Scratch3-Tello*



Fonte: *Scratch3-Tello*¹⁸.

Há também os controles remotos, a exemplo do que é demonstrado na Figura 12, que apresenta o controle desenvolvido pela empresa *GameSir* para o *drone Tello*. Esse controle traz as principais características de outros controles desenvolvidos para atender equipamentos similares, não possuindo grandes diferenças entre eles e sendo simples

18 Disponível em: <https://scratch3-tello.app/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

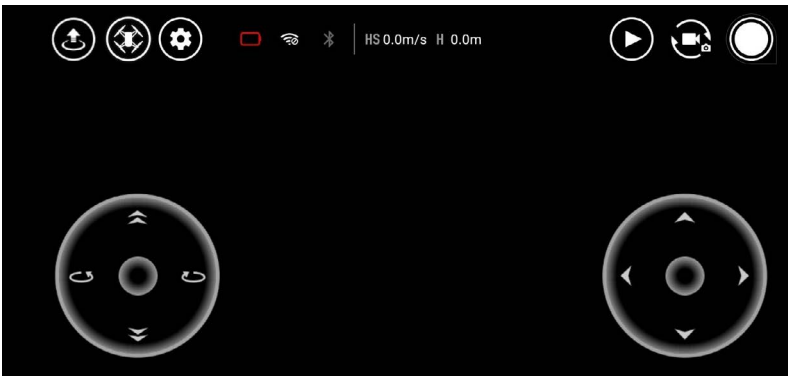
de ser utilizado, inclusive por parecer-se com um controle de videogame.

O controle da *GameSir*, como a maioria dos controles de drone, depende de um dispositivo móvel (celular ou *tablet*) para ter comunicação com o drone. Existem equipamentos em que a necessidade de utilização conjunta ao controle é apenas para reprodução da câmera do drone. Porém existem outros casos em que os dispositivos móveis são essenciais, não sendo possível dissociá-los para o controle do drone, como no caso no controle da *GameSir* desenvolvido para o drone *Tello*.

Como mencionado anteriormente, há também a possibilidade de controlar alguns equipamentos utilizando diretamente um celular ou *tablet*, sem a necessidade de um controle remoto físico, sendo esta função executada virtualmente na tela do dispositivo móvel. A Figura 13 mostra a tela principal do aplicativo utilizado para controle do drone *Tello*. Comparativamente, se olharmos para o controle físico e o aplicativo, veremos que os dois principais controles são similares.

Figura 12 — Controle *GameSir T1D*

Fonte: Tecno Drones¹⁹.

Figura 13 — Tela principal do *App Tello Android*

Fonte: Malavida²⁰.

19 Disponível em: <https://www.tecnodrones.com.br/gamesir-t1d-controller-dji-tello>. Acesso em: 24 ago. 2025.

20 Disponível em: <https://www.malavida.com/br/soft/tello/android/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

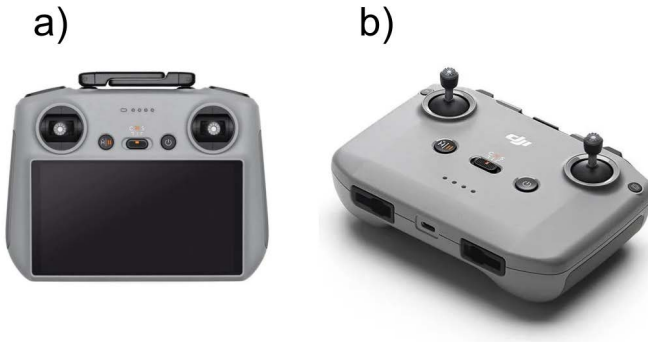
4.3.2 Entendendo os controles de um drone

Como visto, há várias formas de se controlar um UA, porém, com exceção da programação, todos têm características semelhantes que facilitam a interação com o equipamento remotamente. Se olharmos para as figuras 12 e 13 veremos alguma semelhança nos controles físicos e via aplicativo.

Quando utilizamos um drone, nos deparamos com dois *joysticks* ou controles virtuais que são destinados ao movimento do equipamento. Tomando o controle destinado ao *drone Tello*, a exemplo do que é apresentado nas imagens, temos um *joystick* à direita que é responsável pelos movimentos de subida, descida, deslocamento a direita e à esquerda. Já o *joystick* da esquerda é responsável pelos movimentos de rotação a direita e esquerda, bem como a movimentação de ir para frente ou voltar para trás (Shenzhen *Ryze Technology Co. Ltd.*, 2018b).

Na tela, seja de um celular, *tablet* ou até mesmo diretamente na tela do controle, para aqueles modelos já vem com uma tela integrada, são apresentados uma série de informações importantes, tais como altura, distância, carga da bateria, entre outras informações. Cada drone e/ou controle trará mais ou menos informação em função dos seus recursos e sensores disponíveis. A Figura 14, apresenta dois rádios-controle, sendo a 14a com tela embutida e a 14b com apenas os botões e *joysticks*.

Figura 14 — Controle com e sem tela



Fonte: Loja oficial DJI²¹.

De mesmo modo, os botões disponíveis trazem atalhos para recursos específicos, tais como tirar foto, ativar ou desativar a gravação de vídeo, retorno automático para a base de origem e assim por diante.

A Figura 15, apresenta os movimentos possíveis a partir da utilização dos *joysticks* de um controle. Vale destacar que alguns controles permitem alternar entre as funções do *joystick* da direita e do da esquerda, porém mantendo as características apresentadas na imagem.

21 a) Disponível em: <https://www.lojadji.com.br/controlere-moto-com-tela-dji-rc-2-dji-mini-4-pro-air-3-br-dji1028/p>. Acesso em: 24 ago. 2025; b) Disponível em: <https://www.lojadji.com.br/controlere-moto-dji-rc-n3-dji-neo-br-dji1051/p>. Acesso em: 24 ago. 2025.

Figura 15 — Comando de voo a partir de um controle



- a - sobe
- b - desce
- c - gira a esquerda
- d - gira a direita
- e - move-se para frente
- f - move-se a esquerda
- g - move-se para trás
- h - move-se para a direita

Fonte: Loja oficial DJI.

Sendo assim, é extremamente importante, antes de sair pilotando, ler o manual do equipamento para reconhecer todas as funções e configurações disponíveis e principalmente familiarizar-se com a usabilidade do dispositivo.

ESCOLHA E USO DE DRONE NA EDUCAÇÃO

Nesta capítulo, focaremos na seleção e operação de drones especificamente para uso educacional. Abordaremos os critérios essenciais para escolher o modelo mais adequado às necessidades pedagógicas, considerando fatores como custo, público-alvo e objetivos de aprendizado. Além disso, exploraremos como integrar os drones de forma eficaz no currículo, como um recurso pedagógico para o engajamento dos alunos e a promoção da aprendizagem.

5.1 COMO ESCOLHER UM DRONE PARA USO PEDAGÓGICO

A adoção de um drone no contexto de sala de aula deve considerar aspectos referentes à sua implementação, identificando a necessidade, o público e o objetivo a ser alcançado, além de observar a legislação brasileira sobre o assunto, uma vez que o peso máximo de decolagem (PMD) e

a característica do voo (recreação ou profissional) influenciam no processo burocrático para uso.

Além do peso máximo de decolagem e da finalidade da operação, a escolha e o uso de drones em ambientes externos exigem a verificação prévia do local de voo. Antes de qualquer atividade externa com drones em contexto educacional, o professor ou responsável deve verificar se a área pretendida possui interseção com Zona de Restrição de Voo (FRZ), Espaço Aéreo Condicionado (EAC), área proibida, área restrita, área perigosa, Rota Especial de Helicóptero (REH), aeródromo ou heliponto. A existência dessas áreas pode impedir o voo ou exigir autorização, Termo de Coordenação e análise específica pelo DECEA. Portanto, a definição do equipamento adequado não deve considerar apenas o PMD, o custo e os recursos tecnológicos, mas também as condições regulatórias do espaço onde se pretende realizar a atividade.

Além disso, as tecnologias mudam o tempo todo, e com os drones isto não é diferente. Sendo assim, questões de custo de aquisição e manutenção devem ser levadas em consideração. Outro ponto crucial é se o drone selecionado atingirá o objetivo de envolver, motivar e permitir a superação dos desafios por parte dos alunos (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016; Yepes, 2020).

Também é importante compreender que um drone utilizado por alunos do ensino médio tem requisitos diferentes dos utilizados por alunos das séries iniciais do ensino

fundamental. Além disso, o papel desse drone no contexto do que será ensinado é o principal ponto a ser observado para escolha do modelo que melhor atenderá o propósito de ensino.

Em se tratando de escolha de um equipamento para ser utilizado em sala de aula, deve-se ter em mente tudo que foi visto até aqui, considerando inclusive critérios de peso que implicam maior ou menor restrição legal, ou ainda sistemática de voo, no que se refere a drones para voo em ambiente fechado (*indoor*) e drones para voo ao ar livre (*outdoor*) (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016), acrescido da intencionalidade pedagógica que se pretende. Libâneo (2017) destaca que deve ser consciente por parte do educador, tendo clareza do que se pretende alcançar com o uso de determinado recurso, e que “[...] conforme o objetivo pretendido, variam os meios” (Libâneo, 2017, p. 16).

O professor deve ter ciência de que existem riscos de lesões, danos ao drone ou a outra propriedade e até penalidades civis (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016). Assim, o uso que será proposto para esse drone, estará intimamente ligado às suas características físicas e tecnológicas.

5.1.1 A seleção de drone em função das tecnologias

A escolha em função da tecnologia deve ater-se a vários pontos importantes. Drones para capturas de imagens, por exemplo, geralmente são mais caros, porém têm uma autonomia de voo maior e possuem recursos de estabilidade

mais avançados. Inclusive a estabilidade de voo é fator determinante sobre a questão de pilotagem.

Drones de menor valor, geralmente têm menos recursos tecnológicos, menos sensores, o que implica em menor estabilidade durante o voo. Geralmente, drones do tipo FPV, por exemplo, não possuem a opção pairar automático, sendo que para isso, o controlador do drone deve realizar os ajustes via controle remoto o tempo todo para garantir que ele fique suspenso no ar de forma estável, exigindo do seu piloto habilidade avançada para isso.

Nesse mesmo sentido, a ausência de determinados sensores, a exemplo do GPS, permite que mesmo pairando, sofra derivas motivadas por falta de equilíbrio entre as hélices, corrente de ar ou outros fatores. Um simples toque na aeronave pode iniciar um movimento que leve a colisão com paredes, pessoas, objetos, entre outros (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016).

Já os equipamentos programáveis, por exemplo, são mais simples e possuem uma autonomia de voo menor. Sendo assim a escolha de “um drone deve atender às necessidades do usuário e de seus propósitos educacionais para otimizar o investimento em tecnologia” (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016, p. 48, tradução nossa²²).

22 *A drone should meet the needs of the intended user and its educational purposes to optimize the investment on technology.*

Além disso, quando escolhemos um drone, precisamos considerar a forma de controle que este equipamento possui e se este tipo de controle está de acordo com a necessidade pedagógica. Um drone que não possui um ambiente nativo de programação, seja em blocos ou via linguagem de código, pode representar um limitante para desenvolver atividades de automação de voo. Há também equipamentos que não são munidos de controles remotos, sendo sua operação realizada diretamente na tela de dispositivos móveis (celular, *tablet*, etc.), o que implica a necessidade adicional desses dispositivos para utilização dos drones (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016).

5.1.2 A seleção de drone em função do custo

Temos também outro fator determinante sobre a escolha do equipamento: seu custo. Atualmente, existem poucas opções voltadas à educação disponíveis no Brasil e seus custos estão acima dos R\$500,00, já incluso impostos. Dentro desses parâmetros podemos citar o *drone Tello* da empresa *Ryze Technology*, que foi desenvolvido pela DJI com processador da Intel (Shenzhen *Ryze Technology Co. Ltd.*, 2025).

Há também o *ESP-Drone*, que é uma placa de desenvolvimento baseado em ESP32/ESP-S2/ESP32-S3 fornecida pela empresa *Espressif Systems* tendo parte do seu código portado do projeto *Crazyflie* (*Espressif Systems* (Shanghai) PTE LTD, 2024).

Ambos os modelos têm seu desenvolvimento voltados especificamente para fins educacionais, possuindo recursos como programação, tanto em bloco, quanto via linha de código. São extremamente pequenos, o que facilita seu uso em ambiente interno. O custo está relacionado aos seus recursos ou a ausência desses, seja uma câmera, seja um sensor ou até mesmo a autonomia da bateria, o que acaba influenciando na falta de estabilidade de voo desse equipamento.

Porém, quando se trata de drone de uso profissional, há uma vasta variedade de modelos e tamanhos, com características diversas. Marcas como DJI e Xiaomi, são as que despontam em termos de modelos e recursos disponíveis no Brasil. São equipamentos que em sua maioria são controlados via rádio-controle (controle remoto) e que possuem uma interface de automatização de voo que necessita de conhecimento intermediário e avançado, mas que apresentam grande estabilidade de voo e bons recursos para evitar obstáculos.

Em termos de custos, podemos citar os drones da DJI, com todas as variações, com valores que iniciam a partir de R\$ 1.900,00²³, o qual refere-se ao valor de entrada do drone Neo Standard BR.

Por fim, há um terceiro segmento, voltado ao aeromodelismo, e mais próximo do conceito de DIY, sigla em

23 Drone DJI Neo Standard BR (DJI050), Disponível em: <https://www.lojadji.com.br/drone-dji-neo-standard-br-dji050/p>. Acesso em: 11 maio 2025.

inglês para *Do It Yourself*, que se traduz para “Faça Você Mesmo” em português, que congrega equipamentos de código aberto e proprietários com finalidades variadas. Nesse contexto estão todos hardwares e *softwares* que podem ser associados conforme a característica que o seu usuário desejar, permitindo, até certo ponto de liberdade, que o usuário configure/monte de acordo com suas necessidades. Drones experimentais, drones para FPV e drones *race* (drones voltados à corrida) são em sua maioria oriundos desse contexto. Todas as partes são adquiridas separadamente e combinadas conforme o projeto a que se destina o drone.

Esse conceito exige de seus usuários conhecimento intermediário e avançado para seu planejamento e construção. Neste segmento, podemos produzir drones a partir de R\$500,00 com uma grande variedade de marcas, modelos e recursos disponíveis. Contudo, em sua grande maioria as peças devem ser importadas, uma vez que em virtude da variabilidade do custo do dólar e da velocidade do surgimento de novas atualizações, poucas empresas arriscam possuir estoque com esses recursos.

5.1.3 A seleção de drone em função do ambiente de utilização

Uma outra característica a ser observada, diz respeito ao ambiente de utilização. Quando pretendemos trabalhar *indoor*, ou seja, em ambiente fechado, drones de pequeno

porte e com recursos de estabilização de voo tendem a ser melhores em virtude de suas características diminutas e estabilidade.

Já para ambientes *outdoor*, em ambiente aberto, drones maiores acabam sendo melhores pois possuem maior resistência a vento e a outras intempéries e mesmo que não possuam estabilização de voo, acabam sendo atrativos em função do espaço de voo disponível.

A escolha a partir desse critério está intimamente ligada à tecnologia uma vez que o comportamento do drone em cada um desses ambientes (*indoor* e *outdoor*) é influenciado por seus recursos tecnológicos disponíveis. Aparelho com GPS, geralmente são mais caros, porém apresentam maior estabilidade de voo em ambiente externo. Já aparelhos com sensores de proximidade são ideais para ambientes pequenos e com muitos obstáculos.

Outra característica a ser considerada em função do ambiente, trata-se da escolha de equipamentos que possuam gaiolas de proteção, seja apenas para as hélices ou para toda a estrutura do drone. Esse tipo de recurso é extremamente útil quando o ambiente possui muitos obstáculos e o risco de choque ou queda seja aumentado. Esse tipo de equipamento com gaiola, além de proteger os alunos, também protege o equipamento, uma vez que serve para amortecer quedas e colisões, além de minimizar a chance de ferimentos dos usuários em função de uma maior proteção das hélices.

Para ambiente externo, drones com sensores de obstáculos são extremamente úteis para evitar colisão com árvores ou construções, reduzindo risco de queda por colisão, garantindo uma maior segurança para o equipamento durante o voo.

Um ponto importante a se considerar na escolha do equipamento, quanto ao ambiente, refere-se ao fato de que, em ambiente fechado ou área confinada, a operação não é considerada atividade em espaço aéreo para fins de responsabilidade do DECEA. Isso reduz as exigências relacionadas ao acesso ao espaço aéreo, mas não elimina outros deveres legais e institucionais, como autorização do responsável pelo espaço, segurança dos participantes, proteção da integridade física, respeito à privacidade, direito de imagem e uso de equipamentos compatíveis com as normas aplicáveis.

Nos casos que isso não seja possível definir, drones com PMD menor de 250 gramas também é uma boa escolha, pois reduzem a complexidade e exigências legais referentes aos registros necessários e também a isenção da solicitação junto ao SARPAS.

Enfim, ao escolher um drone com base nos critérios ambientais, deve-se ter em mente que o drone deve estar preparado para suportar as intempéries provenientes de seu uso, mas também considerar os aspectos legais inerentes ao uso do equipamento.

5.1.4 A seleção de um drone em função da legislação brasileira

Em se tratando da escolha de um drone em função das normas brasileiras, para melhor compreensão podemos subdividir os drones em 4 grupos:

- a) grupo 1 — drones com PMD até 250g ou aeromodelos;
- b) grupo 2 — drones com PMD entre 250g e 25kg;
- c) grupo 3 — drones com PMD entre 25kg e 150kg; e
- d) grupo 4 — drones com PMD acima de 150kg.

Os drones dos grupos 3 e 4, classificados respectivamente como classes 1 e 2, segundo a norma do RBAC-E nº 94 da Anac, são drones grandes que possuem uma série de exigências para voo, tais como habilitação de piloto, seguro de Responsabilidade do Explorador e Transportador Aéreo (RETA), maioria para pilotagem, entre outras restrições, que tornam inviável o uso em sala de aula. Ainda, se considerarmos somente o tamanho da aeronave, já temos um problema, uma vez que é praticamente impossível voos em ambiente fechado.

Já os drones dos grupos 1 e 2, estão compreendidos dentro da classe 3 com algumas diferenças entre os dois grupos quanto às autorizações e exigências legais que implicam em cada uma das categorias.

Continuando a sistemática de apresentação, drones do grupo 2 são drones mais sofisticados tecnologicamente, possuindo uma série de recursos tecnológicos e com maior autonomia de voo. Porém, para alçar voo, necessitam de um regramento maior, que em caso de voos não recreativos, podem ser operados somente por maiores de 18 anos, devendo possuir seguro RETA, ter que solicitar autorização de voo no SARPAS, entre outras restrições. Desta forma, para fins de utilizar drones dessa categoria, o professor deve ter consciência quanto a estas restrições e muitas outras inerentes a este tipo de equipamento em função ao ganho pedagógico que este poderá trazer.

Por fim, drones do grupo 1, são drones que em sua maioria possuem um custo menor de aquisição e manutenção. Além disso, não possuem restrição de idade para o operador, o que permite que os alunos os utilizem sem qualquer problema legal. Para operação recreativa, a ICA 100-40 de 2026 estabelece altura máxima de 200 pés, equivalente a aproximadamente 60 metros acima do nível do solo (AGL), e distância horizontal máxima de 300 metros, sem prejuízo das demais restrições aplicáveis ao local de voo, à categoria da operação e às exigências de autorização (Brasil, 2026). Quando aeromodelos, em espaço aberto, deve-se voar apenas em áreas exclusivas para voos destinados a aeromodelismos. Caso contrário, deve-se realizar a solicitação de autorização de voo via SARPAS.

Além disso, na última versão do ICA 100-40 de 2026, os drones com PMD acima de 25 kg tornam-se pouco adequados ao uso escolar cotidiano. Aqueles com PMD superior a 25 kg e até 150 kg enquadram-se, em regra, na Classe 2 da ANAC, enquanto os de PMD superior a 150 kg enquadram-se na Classe 1, exigindo requisitos operacionais e documentais incompatíveis com a realidade de atividades pedagógicas escolares comuns (Brasil, 2026).

Isto porque, a partir de 1º de julho de 2026, a legislação introduz uma nova delimitação, para além das classes em função de tamanho definidas no RBAC-E nº 94, e passa a vigiar 3 categorias, agora em função de risco operacional.

Há ainda uma série de outros pontos que podem ser considerados para a escolha de equipamentos porém como relatado logo nas primeiras páginas deste material, as normas estão em constante evolução e podem sofrer alterações a qualquer momento. De mesmo modo, as tecnologias estão em constante evolução e podem ser melhoradas ou até substituídas, influenciando diretamente na escolha do equipamento. Logo, quando o professor for escolher um equipamento, deve atentar-se à legislação vigente e ao mercado de drone para fins de reconhecer os critérios legais e as tecnologias disponíveis no momento da aquisição.

5.1.5 Considerações finais sobre a escolha de um drone

A escolha de um drone para utilização em atividades educacionais envolve um conjunto de fatores que vão além das características técnicas do equipamento. Ao longo das seções anteriores foram apresentados diferentes aspectos que podem orientar essa decisão, incluindo questões relacionadas à segurança, à facilidade de operação, às possibilidades pedagógicas e às condições institucionais disponíveis para sua utilização.

Em primeiro lugar, é importante considerar que o drone será utilizado em um contexto educacional. Isso significa que o equipamento deve apresentar características que favoreçam sua utilização em ambientes escolares, como estabilidade de voo, facilidade de controle e recursos de proteção que contribuam para reduzir riscos durante as atividades. Equipamentos excessivamente complexos ou projetados para usos profissionais específicos podem dificultar o desenvolvimento das atividades pedagógicas, especialmente em contextos de introdução à tecnologia.

Outro aspecto relevante diz respeito às possibilidades de exploração pedagógica que o equipamento oferece. Drones que permitem maior controle sobre seus movimentos e trajetórias tendem a ampliar as oportunidades de desenvolvimento de atividades relacionadas a conceitos de matemática, física e pensamento computacional. Nesse sentido, a escolha do equipamento deve considerar não

apenas sua capacidade de voo, mas também seu potencial como recurso para investigação, experimentação e resolução de problemas.

Também é necessário considerar as condições institucionais em que o drone será utilizado. Diferentes escolas possuem realidades distintas em termos de espaço físico, infraestrutura tecnológica e disponibilidade de equipamentos. Em muitos casos, a utilização de um único drone compartilhado entre grupos de estudantes pode ser suficiente para o desenvolvimento de atividades significativas, desde que o planejamento pedagógico organize a participação dos estudantes de forma colaborativa. Assim, a viabilidade do uso educacional de drones não depende exclusivamente da quantidade de equipamentos disponíveis, mas da forma como as atividades são planejadas e organizadas.

Nesse contexto, a escolha do tipo de drone também envolve a decisão entre utilizar equipamentos comerciais prontos para uso ou plataformas que permitam algum nível de prototipagem e customização. Drones comerciais apresentam, em geral, maior estabilidade, facilidade de operação e menor necessidade de conhecimentos técnicos avançados para sua utilização. Essas características os tornam particularmente adequados para atividades introdutórias, nas quais o foco principal está na exploração pedagógica de conceitos e na familiarização com o funcionamento do equipamento.

Por outro lado, plataformas que permitem prototipagem ou customização podem ampliar as possibilidades educacionais em atividades mais avançadas. Nesses casos, o drone deixa de ser apenas um dispositivo de voo e passa a constituir um objeto de estudo em si, permitindo explorar aspectos relacionados à eletrônica, programação, sensores e sistemas embarcados. Entretanto, esse tipo de abordagem geralmente exige maior disponibilidade de tempo, infraestrutura e conhecimentos técnicos, o que pode não ser viável em todos os contextos escolares.

Trazendo um pouco de reflexão sobre quais critérios utilizar, é necessário perceber dois pontos importantes: ou o drone é visto como “robótica na educação” ou ele é visto como “robótica para a educação” (Malec, 2001). Na primeira perspectiva, o equipamento é a finalidade e os conceitos utilizados são secundários. Já na segunda perspectiva, o drone é o meio para o ensino de conteúdos curriculares

A análise desses diferentes fatores pode ser compreendida a partir do modelo SOAR (*Safety, Operation, Active Learning and Research*), em que a escolha do equipamento está diretamente relacionada às etapas iniciais de segurança (Safety) e operação (Operation), nas quais é fundamental que o drone utilizado apresente características que favoreçam o aprendizado seguro e o domínio gradual de suas funcionalidades.

À medida que professores e estudantes desenvolvem maior familiaridade com a tecnologia, o drone passa a ser explorado em atividades de aprendizagem ativa (Active Learning), nas quais o equipamento é utilizado para investigar conceitos científicos, realizar experimentações e resolver desafios propostos em sala de aula. Em estágios mais avançados, as atividades podem envolver também dimensões de pesquisa (Research), nas quais o drone passa a ser utilizado como instrumento para investigação de fenômenos físicos, coleta de dados ou desenvolvimento de projetos tecnológicos.

Dessa forma, a escolha do drone deve ser compreendida como parte de um processo progressivo de apropriação pedagógica da tecnologia. Em muitos contextos educacionais, pode ser mais adequado iniciar com drones comerciais de fácil utilização, que favoreçam a aprendizagem segura das operações básicas. Com o desenvolvimento das atividades e o aumento da familiaridade com a tecnologia, novas possibilidades podem ser exploradas, incluindo o uso de ambientes de programação, simuladores de voo ou mesmo atividades de prototipagem.

Além disso, é importante destacar que a implementação do uso educacional de drones não depende exclusivamente da aquisição imediata de equipamentos. Simuladores de voo, ambientes de programação e atividades de planejamento de trajetórias podem ser utilizados como etapas preparatórias, permitindo que estudantes e professores se familiarizem com

os princípios de funcionamento do drone antes da realização de atividades práticas.

Por fim, é importante reconhecer que as tecnologias evoluem rapidamente e que novos modelos de drones são continuamente introduzidos no mercado. Por essa razão, mais do que indicar modelos ou valores específicos, este material busca apresentar critérios que possam orientar professores e instituições educacionais na escolha de equipamentos que atendam às suas necessidades pedagógicas e às condições de implementação disponíveis.

Dessa forma, a escolha de um drone para uso educacional deve ser compreendida como parte de um processo mais amplo de planejamento pedagógico, no qual aspectos técnicos, institucionais e educacionais são considerados de maneira integrada.

5.2 A UTILIZAÇÃO DE DRONES NA EDUCAÇÃO

No âmbito internacional, é possível encontrar diversas iniciativas de utilização de drones no contexto educacional. Países como Estados Unidos, Malásia, Grécia e Índia estão desde meados da década de 2010 pesquisando a inclusão de drones no contexto educacional. Esses trabalhos têm demonstrado que é possível a utilização de drones como recurso pedagógico de forma segura e consistente dentro

das escolas, apresentando possibilidades a diferentes componentes curriculares (Zardo; Reis; Webber, 2021).

Trabalhos como o de Abichandani *et al.* (2024) buscaram desenvolver habilidades necessárias à indústria dos drones a partir de uma abordagem de Aprendizagem Baseada em Competição (CBL), com foco em alunos de uma universidade dos Estados Unidos voltada à Pesquisa STEM (do inglês *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*). Eles buscaram desenvolver habilidades de montagem, teste e validação de drones, simulação de missões de voo de drones, e pilotagem manual e semiautônoma de drones. Teve como público 97 alunos, que foram divididos em 22 equipes, que após 14 encontros culminaram em uma competição para fins de avaliar os resultados e aprendizagem do grupo. A pesquisa destaca que a aprendizagem ativa a partir da CBL permitiu a construção do conhecimento nos participantes uma vez que a maioria dos estudantes atingiu os marcos técnicos mínimos no final das sessões das oficinas.

Alkaabi e Abuelgasim (2017), no entanto, a partir de uma parceria entre empresas privadas e a Universidade de Emirados Árabes Unidos realizou um workshop de transferência de tecnologia utilizando soluções de mercado, tanto de *software*, quanto de drones para fins de trabalhos fotogramétricos típicos. O público-alvo foram alunos de graduação de Geografia. Como resultados, a pesquisa destaca o aprendizado relacionado ao uso dos *softwares* e dos drones no contexto do mercado de trabalho dos futuros geógrafos.

Em um outro viés, Palaigeorgiou, Malandrakis e Tsolopiani (2017) apresentam as possibilidades da utilização de drones em viagens de campo virtual, em um curso de Desenvolvimento Sustentável da Universidade do Oeste da Macedônia, na cidade de Florina, Grécia. Considerado vital para uma boa formação nessa área, as aulas de campo fazem parte do cotidiano desses alunos. O estudo investigou os pontos fortes e fracos, comparando as viagens reais e as virtuais, construindo um paralelo sobre as vantagens e desvantagens de cada modelo. O público-alvo da pesquisa foram acadêmicos divididos em dois grupos, sendo que um realizou a viagem física e o outro grupo apenas a viagem virtual construída a partir de um drone em tempo real. Como resultados, observou-se que uma não exclui a outra, pontuando que a visão da viagem de campo virtual realizada por drone, permitiu uma visão mais ampla dos locais visitados, o que permite afirmar que essas duas abordagens são complementares.

5.2.1 Drones na educação no Brasil

Infelizmente, o Brasil sofre com questões de disponibilidade de drones voltados à educação, sendo em sua totalidade importados. Além disso, é um recurso pouco explorado dentro da nossa educação, tornando nossa literatura sobre o assunto restrita.

Nesse contexto de restrição, Moura (2023), traz um panorama do uso de drone nos cursos de Geociências

(Geologia, Geofísica e Ciências Ambientais) da Universidade de Brasília. Além dos avanços tecnológicos nesta Universidade, a pesquisa destaca a importância da atualização da prática docente quanto ao uso dessas tecnologias, apresentando ainda as limitações de uso em função dos custos elevados que acabam restringindo o uso a projetos e programas de pós-graduação, pesquisa e extensão.

Yepes (2020), Yepes e Barone (Yepes; Barone, 2018a, 2018b), e Yepes, Barone e Porciuncula (2022) também discutem a utilização de drones dentro da educação, inclusive em contexto STEM²⁴/STEAM²⁵, porém, diferentemente dos autores citados anteriormente, em que o público-alvo estava na graduação, eles buscaram alcançar crianças e adolescentes, discutindo os drones para serem utilizados no contexto escolar. Yepes (2020), buscou compreender como os drones, em um conceito de plataforma de robótica educacional, pode auxiliar no desenvolvimento cognitivo dos alunos mediante a resolução de problemas em sala, ganham relevância uma vez que buscam aproximar uma realidade do mundo tecnológico e do mercado de trabalho à prática pedagógica, a partir da utilização dos drones como material de ensino.

24 Acrônimo das palavras inglesas *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics* (Ciências, Tecnologias, Engenharias e Matemática).

25 Em estudos recentes as artes foram adicionadas ao contexto da metodologia STEM, formando um novo acrônimo formado a partir dos termos em inglês *Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*.

A pesquisa destaca ainda a baixa aderência da robótica educacional por parte das escolas na maioria dos países e mais raro ainda quando se trata de drones como recurso robótico. Entretanto, a pesquisa demonstrou que à época, já havia um movimento de várias empresas e instituições no mundo empenhadas na produção de soluções de drones aplicadas ao contexto educacional. A pesquisa foi realizada com alunos de um curso de técnico em informática integrado ao ensino médio do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Farroupilha (IFFar) em Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul.

No contexto de ensino de física, podemos citar os trabalhos de Nascimento (2022, 2025), Zardo, Reis e Webber (2021) e Borges (2022) que buscaram a partir da utilização de drones explorar conceitos de dinâmica de voo, cinemática e Leis de Newton. Todas as três pesquisas tiveram como foco alunos da educação básica e no caso específico de Nascimento (2022), também com professores. Dentre os resultados foi possível traçar ganhos quanto ao potencial dos drones para promover a alfabetização científica (Nascimento, 2025) destacando o potencial uso desses equipamentos como recurso pedagógico para ensino de conteúdos na área de física (Borges, 2022; Zardo; Reis; Webber, 2021).

Uma outra abordagem dada ao drone, diz respeito à pesquisa de Faria (Faria, 2020, 2021; Faria; Gonzalez, 2022) que o utilizou para produção de conteúdos audiovisuais que discutem e apresentam uma comunidade em Cariacica

no Espírito Santo. Este trabalho busca criar uma relação dialética entre educandos, comunidade e as políticas públicas inerentes ao contexto onde essa comunidade está inserida. Neste trabalho, o drone serviu como ferramenta de coleta de imagens aéreas, permitindo aos envolvidos um outro olhar a respeito do meio estudado.

Por fim, apresentamos o projeto “Meu primeiro Drone”, executado no município de Recife, Pernambuco, que buscou promover a iniciação científica atrelada à robótica a partir da construção de um protótipo de drone. Encabeçado pela professora Audaci Maria de Lima Silva, teve como objetivo despertar a curiosidade nas crianças a partir da construção de um drone utilizando arduino. As oficinas foram executadas fora do contexto de sala de aula e com crianças de várias faixas etárias, que tiveram a oportunidade de desenvolver o senso crítico, a criatividade, o trabalho colaborativo e a autoria (Instituto Significare, 2021).

5.2.2 Experiências educacionais com drones em diferentes contextos

Além das iniciativas mencionadas anteriormente, diferentes estudos têm investigado de forma mais sistemática os impactos do uso de drones no processo de ensino e aprendizagem em contextos educacionais distintos.

No contexto brasileiro, como visto no capítulo anterior, Yepes (2020) desenvolveu uma pesquisa no Instituto Federal

Farroupilha, Câmpus Frederico Westphalen, em um curso Técnico em Informática integrado ao Ensino Médio. A proposta pedagógica foi estruturada a partir da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), utilizando drones DJI Tello e programação por meio da linguagem Scratch para explorar conceitos de funções trigonométricas, particularmente seno e cosseno. Durante as atividades, os estudantes foram desafiados a planejar trajetórias de voo e a relacionar os movimentos do drone com representações matemáticas dos ângulos e deslocamentos.

A investigação utilizou um delineamento com grupo de estudo e grupo de controle, sendo os resultados analisados por meio do teste t de Student. Os resultados indicaram desempenho significativamente superior do grupo que participou das atividades com drones: aproximadamente 60% dos estudantes desse grupo obtiveram notas entre 6 e 10 no pós-teste, enquanto apenas 20% dos alunos do grupo submetido ao ensino tradicional alcançaram resultados semelhantes. Além dos resultados quantitativos, os relatos dos estudantes indicaram que a utilização do drone contribuiu para tornar os conceitos matemáticos mais concretos e visualizáveis.

Experiências semelhantes também têm sido desenvolvidas em outros contextos educacionais. Yiu Yeung, Sun e Ho Yeung (2025) descrevem o desenvolvimento do Drone Technology Enabled STEM Curriculum (DTESC) em uma escola secundária de Hong Kong, no qual estudantes do 9º e 10º anos participaram de projetos interdisciplinares

envolvendo ciência, tecnologia, engenharia e matemática. Entre as atividades propostas, os alunos foram desafiados a projetar um sistema de coleta de amostras de água assistido por drone e a desenvolver soluções tecnológicas relacionadas ao uso desses dispositivos.

A avaliação das atividades foi realizada por meio de rubricas de desempenho com cinco níveis de proficiência. Em uma das tarefas de design de engenharia, um grupo de estudantes atingiu a pontuação máxima possível (40/40), demonstrando elevado domínio conceitual e técnico. Os pesquisadores também observaram que os estudantes passaram a encarar falhas nos testes de voo como oportunidades de aprendizagem, desenvolvendo maior resiliência e disposição para revisar e aprimorar suas soluções.

Iniciativas envolvendo drones na educação também têm sido implementadas em contextos de educação básica em regiões com menor acesso a tecnologias digitais. Um exemplo é o programa *drone@school*, implementado por Jemali *et al.* (2022) em escolas primárias da região de Kelantan, na Malásia. Nesse projeto, foram utilizados drones DJI Tello for Education em conjunto com o ambiente de programação *DroneBlock™*, com o objetivo de fortalecer o ensino de ciência e matemática por meio da lógica de programação.

Os resultados do programa indicaram impactos positivos tanto na compreensão conceitual quanto no interesse dos estudantes por temas relacionados a STEM. Após a

implementação das atividades, o nível de compreensão em conteúdos STEM atingiu aproximadamente 96,6%. Além disso, o interesse declarado dos estudantes por essas áreas aumentou de 53,4% para 89,8%. Os pesquisadores destacam que a introdução dessa tecnologia contribuiu para ampliar o entusiasmo dos alunos pelas atividades científicas, especialmente em contextos educacionais nos quais o acesso a tecnologias avançadas costuma ser limitado.

Essas experiências evidenciam que o uso educacional de drones tem sido explorado em diferentes contextos educacionais e níveis de ensino, produzindo resultados que vão desde melhorias no desempenho acadêmico até mudanças nas atitudes dos estudantes diante do processo de aprendizagem. De modo geral, tais iniciativas reforçam o potencial dessa tecnologia como recurso pedagógico capaz de favorecer abordagens investigativas, interdisciplinares e orientadas à resolução de problemas no ensino de ciências, matemática e áreas afins.

5.3 OS DRONES COMO RECURSO PEDAGÓGICO

O mercado mundial de drones tem passado por intensa transformação, e essa transformação tem refletido na disponibilidade de UAs destinadas à educação. Ebeid *et al.* (2018) já destacavam em sua pesquisa que as inovações disruptivas referentes à aplicação civil dos drones, e o

crescimento da indústria dos drones, torna necessário o desenvolvimento de pesquisas sobre UAV.

Com o intuito de favorecer a sistematização dos conteúdos discutidos ao longo deste *e-book*, apresenta-se, na Figura 16, um mapa mental que organiza de maneira integrada os diferentes eixos relacionados ao uso de drones no contexto educacional. Esse recurso cumpre a função de sintetizar informações de natureza técnica, legal e pedagógica, evidenciando suas inter-relações e permitindo ao leitor/pesquisador visualizar, de forma global, os elementos que fundamentam a utilização de drones como recurso pedagógico. Além disso, o mapa serve como instrumento de apoio para a compreensão das próximas subseções, em que se discutem aspectos da transposição didática e exemplos práticos de aplicação.

Assim, conhecer quais equipamentos estão acessíveis ao contexto educacional e principalmente adequados às necessidades de salas de aulas é extremamente importante. Carnahan, Crowley e Zieger (2016), no livro intitulado *Drones in Education: Let Your Students' Imaginations Soar* que em tradução livre é *Drones na Educação: Deixe a imaginação de seus alunos voar* destacam que ao incorporar uma tecnologia de ponta você precisa saber se é útil. Na mesma linha de pensamento Yepes (2020), salienta que:

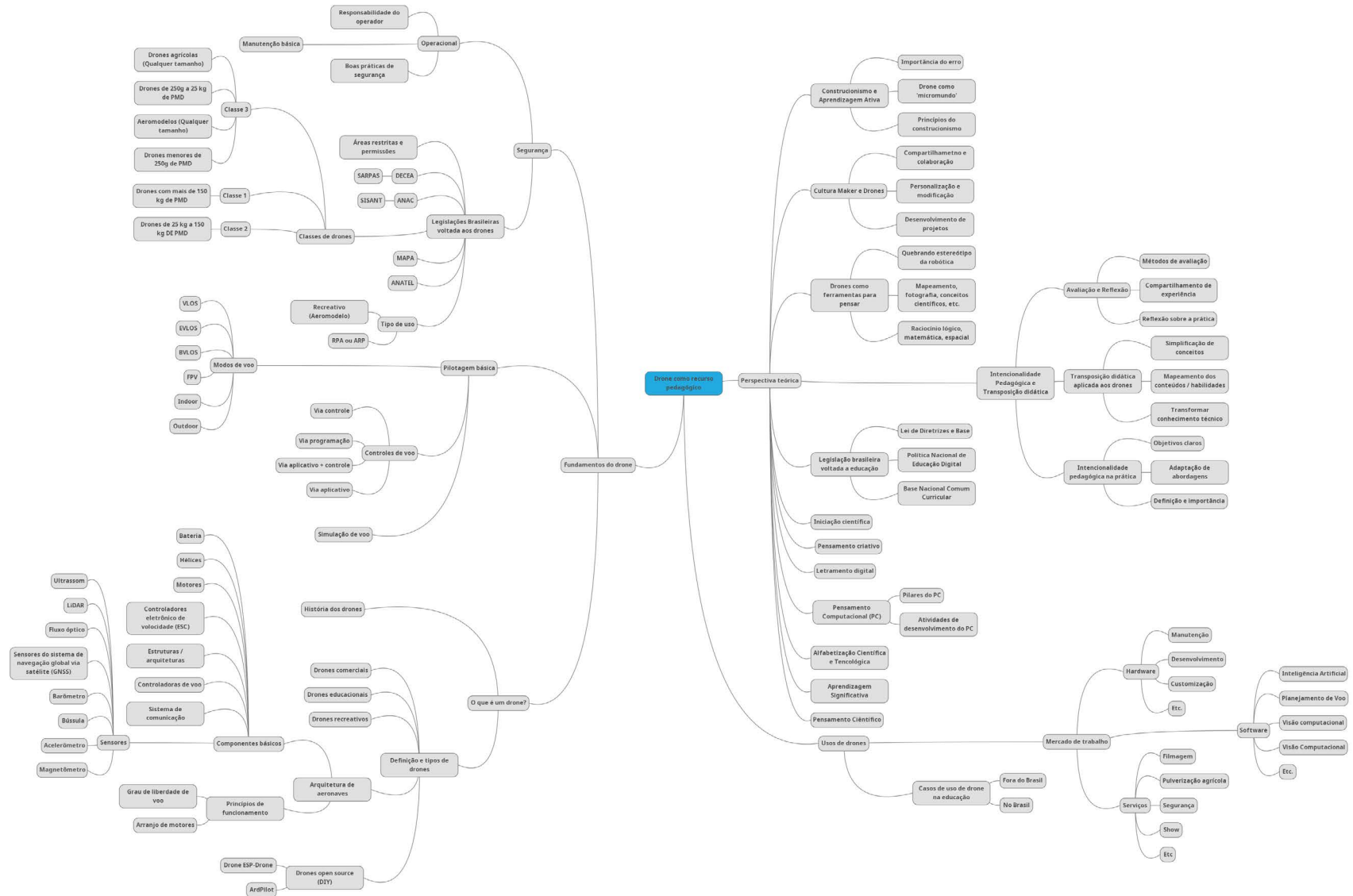
Mesmo com o surgimento de equipamentos voltados à área de educação, sua inserção ainda é tímida no ambiente escolar. Em parte, pelos custos desse tipo de equipamento, pois ainda é

caro estruturar um laboratório com drones. Há muitos drones de baixo custo, entretanto, a grande maioria reflete esse baixo custo na qualidade dos seus componentes e, conseqüentemente, na precisão dos equipamentos (geralmente de difícil manobrabilidade e baixa estabilidade) (Yepes, 2020, p. 49).

E é aqui que chegamos com este material. Primeiro, porque os desafios existem e a escola estando preparada ou não, a sociedade continuará a se desenvolver e a incorporar novas tecnologias. Segundo, que para transpormos as dificuldades temos de conhecê-las e compreendê-las de forma que, conforme bem descritos pelos autores Carnahan, Crowley e Zieger (2016), não continuarmos encontrando alunos natos digitais altamente tecnológicos imersos em um mundo onde há tecnologia prontamente disponível mas com educadores ainda utilizando-se de um formato de ensino desconexo de tal realidade.

Carnahan, Crowley e Zieger (2016) apontam que ensinar utilizando-se de drones como recurso pedagógico favorece o aprendizado incidental, pois os alunos acabam envolvidos pelo uso desses equipamentos e sem perceber aplicam conceitos do conteúdo do curso. Trata-se de um aprendizado não planejado. Isso implica afirmar que, quando os alunos estão curiosos e interessados, a retenção de informações aumenta.

Figura 16 — Mapa mental: Drone como recurso pedagógico



Fonte: Os autores (2025).

Por outro lado, é necessário que o professor esteja apto a pilotar esse tipo de dispositivo e ao mesmo tempo precisa ser capaz de relacionar os conteúdos a serem ministrados ao drone. Como já visto nas seções anteriores, voos internos (*indoor*) têm características distintas de voos externos (*outdoor*) em virtude do volume de obstáculos e da proximidade com estes (Carnahan; Zieger; Crowley, 2016), implicando em uma preparação prévia, similar a qualquer outra aula, seja ela com um produto químico, um dispositivo robótico ou simplesmente uma cartolina e tesoura. Além disso, são isentos da observação da maior parte da legislação. Nos voos externos, por outro lado, a legislação aplicável é bem maior e os cuidados com privacidade e segurança também.

Assim, para se ter um resultado satisfatório é necessário ter em mente 4 pilares que são bem fundamentados por Chris Carnahan e Laura Zieger, os quais o chamaram de SOAR, do acrônimo das palavras em inglês *Safety, Operation, Active Learning, e Research*. Esses componentes referem-se respectivamente a (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016; Kuzma *et al.*, 2018):

- a. Segurança — ética;
- b. Operação — voo, manutenção e solução de problemas;
- c. Aprendizagem ativa — engajamento na resolução de problemas; e
- d. Pesquisa — aplicações práticas.

Como visto nas páginas iniciais deste material, em se tratando do uso de drones a segurança permeia vários aspectos no que diz respeito à segurança do usuário, das pessoas próximas, do sistema de aviação, do direito à privacidade, dos alunos, entre outros, sendo de extrema importância, que todos os envolvidos no processo de utilização tenham pleno conhecimento sobre todos esses aspectos de modo a resguardá-los (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016).

Já no que concerne à operação, refere-se a todo processo físico de voar e manter o drone, devendo o professor estar preparado para pilotar com segurança esses equipamentos, além de estarem aptos a resolver problemas inerentes ao funcionamento de forma ágil e segura. Está intimamente ligado ao conhecimento necessário que o professor necessita ter sobre o equipamento para utilizá-lo com responsabilidade, sabendo identificar possíveis problemas físico, seja nas hélices, na bateria, na conexão entre outras, minimizando possíveis impactos negativo e maximizando os efeitos sobre o processo de ensino-aprendizagem (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016).

Nessa linha do ensino-aprendizado, o componente aprendizado ativo traz que a presença do drone tem de ser intencional, devendo ser promotor de uma imersão por parte dos alunos, seja durante a coleta de uma informação, seja demonstrando ou conectando um conceito a partir desse dispositivo (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016). A aprendizagem ativa a partir do uso de drones, como bem explorada por

Yepes (2020), deve ter o aluno como ator principal, professor como mediador e o drone como um recurso didático eclético, reforçando o papel do último componente a ser detalhado: a pesquisa.

A pesquisa no contexto do SOAR remete-nos a estar, como docentes, ativos e atentos às alterações referentes à tecnologia, atentos às suas mudanças, às melhores práticas, pois em virtude da rápida transformação que está sujeita, a prática de sala deve estar de mesmo modo preparada para ser repensada, reformulada, transformada em detrimento às mudanças tecnológicas (Carnahan; Crowley; Zieger, 2016).

Com isso em mente, apesar de parecer algo inalcançável ou utópico, não difere em nada do uso de outros recursos pedagógicos disruptivos.

5.3.1 Ambientes de simulação de drones

Além dos equipamentos físicos existem ainda simuladores que permitem uma experiência para o usuário muito próxima da utilização de um drone real. Nesse contexto, podemos citar o simulador disponibilizado pela empresa *Droneblocks*, atualmente disponível no endereço eletrônico <https://crazyflie-app.droneblocks.io/droneblocks>, que exige uma chave de acesso de 4 dígitos fornecida pelo próprio site e que é alterada mensalmente. Esse simulador é baseado no drone Crazyflie, uma UA de código aberto desenvolvido pela empresa sueca Bitcraze AB.

O simulador permite realizar todas as funções possíveis em um drone físico de forma virtual, fornecendo ao seu usuário uma completa experiência de uso e voo sem a necessidade de instalação de nenhum aplicativo no computador ou ainda de ter um drone físico para uso. A característica desse simulador é que o usuário programa em blocos o voo e ao executar, uma aeronave virtual, simula o voo programado.

Outro simulador para quem quer uma experiência mais próxima do FPV é o *App Drone Simulator*, desenvolvido pela empresa *Ammonite Design Studios Ltd.* Para utilizá-lo é preciso instalar em um celular *Android*. Sua interface é de um jogo onde existem vários desafios para se cumprir utilizando um drone virtual. Como é uma versão de demonstração possui propagandas que aparecem entre um desafio e outro.

Há também simuladores fornecidos em formato de jogos, a exemplo do FPV Drone Simulator e o *Liftoff*, ambos disponíveis na plataforma de jogos Steam da empresa Valve Corporation. Por ser uma plataforma que pode ser instalada em sistemas operacionais *Linux*, *Windows* ou *MacOS*, torna os simuladores portáteis para todos esses sistemas operacionais.

O simulador FPV Drone Simulator é gratuito, desenvolvido pela empresa *DreamEspace*, permite que o usuário tenha uma experiência de voo em primeira pessoa, similar ao uso de um drone real. Já o simulador *Liftoff* é um simulador pago, desenvolvido pela empresa *LuGus Studios*, o qual possui duas variações o *Liftoff* e o *Liftoff Drone Racing*,

sendo a segunda versão voltada especificamente ao mundo das corridas de drone.

Ambas as versões permitem configurações de drones muito próxima de um drone real, dando ao usuário a experiência de montagem e customização de UA similar às do mundo real.

Como visto, existe uma diversidade de equipamentos e simuladores que podem ser utilizados, no contexto de sala de aula, desde equipamentos sofisticados, até simuladores de voo.

5.3.2 Drones educacionais

No contexto dos drones voltados à educação, citamos o *drone Tello* da empresa *Ryze* e o *drone ESP-Drone* da empresa *Espressif*.

No vários trabalhos encontrados, foi possível identificar o *drone Tello*, um equipamento com peso próximo a 90g (87 gramas segundo o manual), que pode chegar a uma velocidade de 28,8km/h. Sua bateria fornece um tempo médio de voo de até 9 minutos à velocidade de até 15km/h. Tem uma envergadura de aproximadamente 125mm.

É um equipamento que vem com uma câmera com resolução de 2592X1936 px, podendo gravar vídeos em 1280X720 a 30 fps, o que representa uma resolução *High Definition* (HD), salvando os arquivos em formato MP4. Na versão básica, ele vem com uma bateria, dois pares de hélices

sobressalentes. Também acompanha 4 protetores de hélices e uma ferramenta de remoção de hélices. Já na versão mais completa, vem com 3 baterias e um carregador. Em nenhuma das duas versões disponíveis vem com controle, podendo ser controlado diretamente via celular, instalando apenas um aplicativo que é disponibilizado pela empresa. Porém a *GameSir* possui um controle compatível, modelo T1D, que pode ser adquirido separadamente.

Outro recurso disponível é a possibilidade de automatizar os voos utilizando uma aplicação *Scratch3-Tello* que permite a programação via blocos, ou ainda diretamente via linguagem de programação *Python* (*Shenzhen Ryze Technology Co. Ltd.*, 2018a, 2018b, 2025).

Uma alternativa ao Tello são os *drones ESP-Drone*, que são desenvolvidos com base nos microcontroladores ESP32/ESP32-S2/ESP32-S3. São equipados com recursos de *Wi-Fi*, permitindo que este drone seja controlado via aplicativo ou controle de videogame. Por serem extremamente simples quanto à estrutura, na versão básica, seu peso não ultrapassa os 45g, já incluso bateria. Possui uma autonomia de voo próxima de 5 minutos e sua envergadura é de 120mm.

Por serem modulares, é possível adicionar recursos extras como sensores de retenção de posição, módulo de pressão atmosférica e módulo bússola, o que acarreta em um ganho de peso, mas que não ultrapassa os 100g. Por ser desenvolvido no conceito “Faça você mesmo” (*Do It Yourself* -

DIY) suas partes podem ser adquiridas separadamente. Pode ser controlado via computador por meio de programação via código *Python* ou via dispositivo móvel a partir da utilização de um aplicativo para dispositivo móvel *ESP-Drone*. Caso o celular tenha um *GamePad* é possível configurá-lo para utilizar conjuntamente com o *App* (*Espressif Systems* (Shanghai) PTE LTD, 2024).

Existem outros drones e outros modelos desenvolvidos, porém para fins de garantir um mínimo de entendimento a respeito do equipamento, nos atemos apenas ao que foram testados pelos autores.

5.3.3 Segurança na utilização de drones na sala de aula

De forma sintética, a partir de tudo que foi visto até aqui, a segurança deve permear a utilização desse recurso pedagógico no contexto da sala de aula. Como qualquer experimento ou atividade que possa ser executada em sala, sempre haverá um risco que deve ser administrado. Yepes (2020) e Carnahan, Crowley e Zieger (2016) apresentam em seus respectivos trabalhos, a preocupação com a segurança no ato de utilizar o drone em sala de aula. Seja pela perspectiva da proteção do aluno ou pela perspectiva da integridade do ambiente, ou ainda do próprio equipamento, o professor sempre deve estar atento a esses elementos que garantem a constância e o sucesso do drone em sala de aula.

O professor deve produzir seu checklist em conformidade com o equipamento escolhido, o qual deve levar em consideração as características físicas do equipamento (tamanho, peso, número de baterias, etc) e as condições de uso desse equipamento (uso interno, uso externo, demonstração pelo professor, uso pelos alunos, controle manual, controle via programação).

Nos voos externos, além dos cuidados físicos com alunos, equipamentos e terceiros, deve-se verificar previamente a existência de restrições no espaço aéreo, como Zona de Restrição de Voo (FRZ), Espaço Aéreo Condicionado (EAC), Rota Especial de Helicóptero (REH), aeródromos, helipontos ou áreas sensíveis. Tais condições podem limitar, condicionar ou impedir a realização da atividade, exigindo autorização específica, Termo de Coordenação ou análise pelo órgão competente.

Carnahan, Crowley e Zieger (2016) propuseram um *checklist* com oito perguntas para serem respondidas antes do início da atividade com drones no contexto do ensino. As perguntas são extremamente simples, mas permitem que o professor faça uma análise a respeito de risco inerente ao voo. A lista de verificação consiste em checar se qualquer uma das perguntas possui resposta positiva. Caso haja, deve traçar um plano para garantir a segurança, mitigando ou superando o risco. As perguntas são:

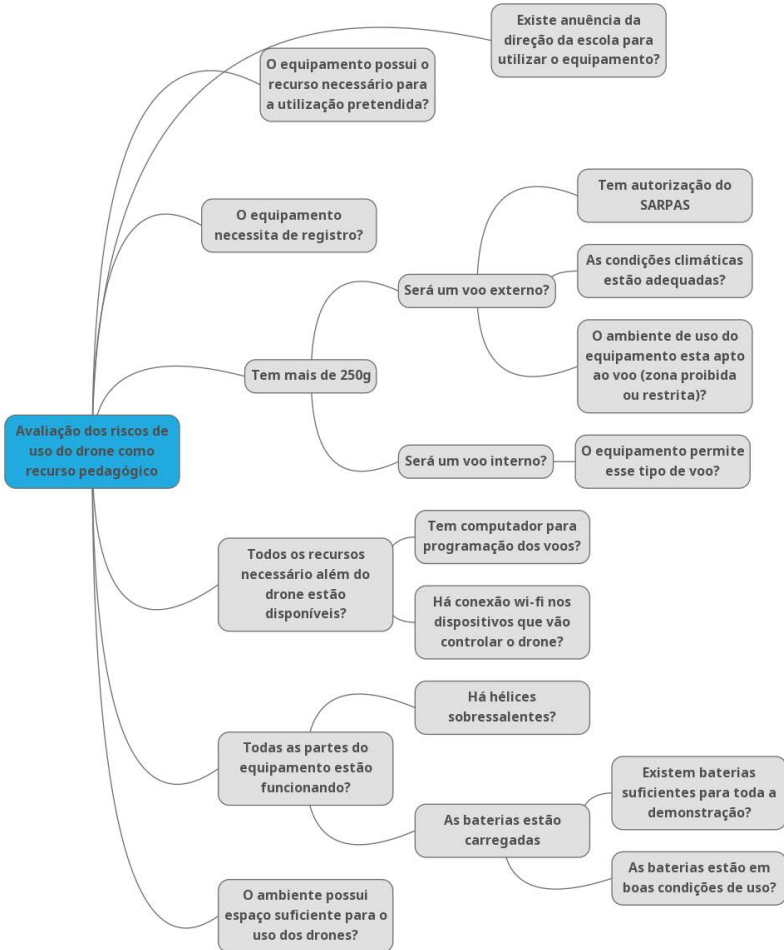
- a. Existem árvores presentes?

- b. Existem fios ou antenas no alto?
- c. O drone voará sobre quaisquer pessoas?
- d. Existe alguma coisa que o drone possa danificar se travar?
- e. Voará acima da altitude máxima de 400 pés (120 metros)?
- f. Há impedimento por falta de autorização para voar na propriedade (escola, campo aberto, etc)? (Você tem permissão para voar sobre a propriedade?)
- g. Existem outras aeronaves nas proximidades?
- h. Existe um aeroporto dentro de 5 milhas (8 km)?

Observem que essas perguntas refletem a legislação do país dos autores, porém, muito próximas do que é previsto no Brasil. Com base em tudo que foi visto até este momento, e no modelo proposto pelos autores Carnahan, Crowley e Zieger apresentamos um pequeno mapa mental, ilustrado na Figura 17, a fim de facilitar a avaliação dos riscos inerentes ao uso do equipamento de modo a auxiliar na decisão sobre quais medidas devem ser tomadas para mitigá-los, expandindo inclusive os itens a serem observados.

Importante salientar que não existe uma regra e tão pouco uma fórmula aplicável a todos os casos. Por esse motivo, é importante a realização desse exercício prévio que aos poucos torna-se tão natural, similar a qualquer outra rotina existente em sala de aula.

Figura 17 — Mapa mental: Avaliação dos riscos operacionais de um drone como recurso pedagógico



Fonte: Os autores (2025).

Ademais, sempre que o professor utilizar um drone, ele deve ter em mente que, ao alçar voo, o operador da aeronave

é um piloto. Sendo assim, submete-se à legislação brasileira a respeito. Deve estar atento inclusive às alterações dessa legislação, que como foi visto logo nas primeiras páginas deste material, é um documento vivo, e em constante alteração. Deve operar respeitando o direito de imagem das pessoas, a proteção à privacidade e as normas da instituição na qual está inserido. Estar atento às adversidades climáticas e primar por voos à luz do dia. E, sendo o caso, quando for realmente necessário, traçar planos que permitam minimizar ou superar estas restrições, dentro das conformidades legais.

5.3.4 Teorias pedagógicas subjacentes

Como visto até aqui, a utilização de drones no contexto educacional não se justifica apenas por seu caráter inovador ou por sua presença crescente no mundo do trabalho. Sua incorporação às práticas escolares encontra sustentação em perspectivas teóricas que compreendem a aprendizagem como processo ativo, investigativo e mediado por artefatos tecnológicos. Este equipamento, enquanto robótica educacional, deixa de ser apenas uma ferramenta tecnológica e passa a constituir um objeto de aprendizagem.

Nesta perspectiva, destaca-se o Construcionismo, formulado por Seymour Papert (1985, 2008), segundo o qual a aprendizagem ocorre de maneira mais significativa quando o estudante constrói algo externo, manipulável e compartilhável. Papert (1985, 2008) desenvolveu essa concepção a partir de

suas experiências com a linguagem de programação LOGO e com a chamada “tartaruga robô”, um dispositivo que permitia aos estudantes programar movimentos geométricos no espaço. Ao controlar a tartaruga e observar seus deslocamentos, os alunos não apenas aprendiam conceitos matemáticos, mas os experimentavam corporal e espacialmente, atribuindo significado às ideias de ângulo, direção, giro e trajetória.

Nesse contexto, a tartaruga robô funcionava como um “*objeto-de-pensar-com*”, expressão utilizada por Papert (1985) para designar artefatos que auxiliam o sujeito a organizar e elaborar conceitos abstratos por meio da ação concreta. Seguindo esta linha Borba, Silva e Gadaniadis (2020) trazem os construtos “*pensar-com-tecnologias*” e “*seres-humanos-com-mídias*” que alinham-se às perspectivas de Kenski (2003) no sentido de que a predominância de determinada tecnologia acaba alterando em um sentido amplo e complexo valores, visão de mundo e até mesmo as ações de cada pessoa, ou do seu grupo social.

O drone, enquanto dispositivo robótico programável, pode assumir papel semelhante no ambiente escolar contemporâneo. Ao programar um voo, calcular deslocamentos ou ajustar ângulos de rotação, o estudante vivencia no espaço físico aquilo que, muitas vezes, permanece restrito ao plano simbólico do papel ou da lousa, ao mesmo tempo em que desenvolve habilidades cognitivas complexas como Pensamento Computacional (PC) e raciocínio lógico, integrando

diferentes áreas do conhecimento (Nascimento, 2025; Yepes, 2020; Zardo; Reis; Webber, 2021).

Assim como a tartaruga e o LOGO permitiam explorar a geometria por meio do movimento, o drone amplia essa possibilidade ao incorporar mobilidade tridimensional, captação de imagens e integração com diferentes ambientes de programação (Nascimento, 2025; Yepes, 2020; Zardo; Reis; Webber, 2021). Conceitos como plano cartesiano, vetores, proporcionalidade, velocidade, força e modelagem matemática deixam de ser apenas representações abstratas e passam a ser experimentados em situações concretas e observáveis.

No campo da robótica educacional, pesquisas como as de Gomes *et al.* (2010) indicam que a manipulação de dispositivos tecnológicos pode favorecer o desenvolvimento do raciocínio lógico e da autonomia intelectual ao propor situações-problema que exigem planejamento e experimentação. O drone, nesse sentido, não é apenas ferramenta ilustrativa, mas ambiente de investigação no qual o estudante formula hipóteses, testa soluções e analisa resultados.

Outro eixo relevante é o Pensamento Computacional, sistematizado por Jeannette Wing (2016, 2006), que envolve habilidades como decomposição de problemas, reconhecimento de padrões, abstração e elaboração de algoritmos. Ao estruturar comandos de voo, prever comportamentos e ajustar sequências programadas, o estudante exercita essas competências de forma integrada aos

conteúdos trabalhados em sala de aula, seja matemáticos, físicos, geográficos ou de qualquer outra disciplina que possa ser relacionada ao uso desse equipamento.

A investigação que deu origem a este material fundamentou-se na perspectiva da pesquisa-formação, conforme discutida por autores como Nóvoa (1992), Josso (2006, 2004, 2007) e Santos, Carvalho e Pimentel (2016), que compreendem a formação docente como processo reflexivo e articulado à prática. Nesse sentido, o uso do drone não é concebido como inovação meramente instrumental, mas como elemento que tensiona e reorganiza as práticas pedagógicas, exigindo intencionalidade, planejamento e reflexão crítica.

Conforme argumenta Kenski (2003, 2013, 2015), as tecnologias digitais não apenas introduzem novos instrumentos, mas reconfiguram tempos, espaços e formas de interação na escola. A inserção do drone no ambiente educacional implica, portanto, repensar a dinâmica da aula, ampliar possibilidades de visualização e integrar dimensões espaciais ao processo de aprendizagem.

Dessa forma, o uso de drones na educação deve ser compreendido como prática intencionalmente fundamentada (Libâneo, 2017), ancorada no construcionismo de Papert (1985, 2008), cuja experiência com a tartaruga robô inaugurou novas formas de ensinar geometria e programação, na robótica educacional, no pensamento computacional e na formação reflexiva de professores. Seu potencial formativo

não reside no equipamento em si, mas na articulação entre fundamentação teórica, planejamento pedagógico e mediação docente consciente.

5.3.5 Avaliação da aprendizagem com uso de drones

A presença de drones em atividades pedagógicas exige que a avaliação acompanhe a complexidade da experiência proposta. Não se trata apenas de verificar se o equipamento foi corretamente operado, mas de compreender quais conhecimentos foram mobilizados, como foram estruturadas as estratégias de resolução e de que maneira o estudante analisou os resultados obtidos.

Conforme discutido anteriormente na perspectiva construcionista de Papert (1985, 2008), a aprendizagem se consolida na construção ativa e na reflexão sobre o que foi construído. Nesse contexto, o processo de tentativa, ajuste e reorganização de comandos não constitui falha, mas parte integrante da elaboração conceitual. Avaliar atividades com drones implica, portanto, considerar o percurso de construção do conhecimento, e não apenas o sucesso técnico do voo realizado.

Além disso, o uso de drones envolve o exercício do pensamento computacional, conforme sistematizado por Wing (2016, 2006), especialmente quando os estudantes precisam decompor problemas, estruturar sequências lógicas de comandos, prever comportamentos do sistema e revisar

procedimentos. A avaliação deve contemplar essas habilidades, reconhecendo que a programação e a organização de algoritmos fazem parte da aprendizagem científica mobilizada na atividade.

Na literatura mundial é possível identificar ao menos três classificações sobre os métodos avaliativos utilizados no contexto do uso de drones como recurso pedagógico. O quadro 4 sintetiza este mapeamento trazendo o método avaliativo e sua classificação, separando as abordagens entre **Diretas** (focadas em desempenho e dados objetivos), **Indiretas** (focadas em percepções, atitudes e dados qualitativos) e **Inovadores e Tecnológicos** (que utilizam ferramentas digitais avançadas ou automação para a avaliação).

Quadro 4 - Lista de obras com seus respectivos métodos avaliativos e classificação

Autor(es) ²⁶	Obra	Método Avaliativo	Classificação do Método
Yeung <i>et al.</i> (2025)	Integrating drone technology in STEM education: Curriculum, pedagogy and learning outcomes	Testes de conhecimento (Bloom) e rubricas de 5 níveis para tarefas de design de engenharia e apresentações.	Diretas (Testes/Rubricas) e Indiretos (Pesquisas de atitude).
Yepes <i>et al.</i> (2022)	Use of drones as pedagogical technology in STEM disciplines	Pré e pós-testes (Taxonomia de Bloom), triangulação com gravações, observações e entrevistas coletivas.	Diretas (Testes estatísticos) e Indiretos (Qualitativos e Afetivos).

26 Apenas autores citados em outras partes do texto foram inseridos no referencial.

Abichandani et al. (2024)	Competition-based active learning instruction for drone education	Marcos do workshop (<i>milestones</i>) e competição de pilotagem; pesquisas de <i>feedback</i> em escala Likert.	Diretas (Formativas e Somativas) e Indiretos (Quantitativo e Qualitativo).
Abichandani et al. (2023)	Artificial intelligence and computer vision education: Codifying student learning gains and attitudes	Avaliação somatória do projeto final (<i>capstone</i>) via rubrica e pesquisa de ganhos de aprendizagem (SALG).	Diretas (Somativas) e Indiretos (Afetivos e Percepção).
Yun et al. (2024)	A learner-centric explainable educational metaverse for cyber–physical systems engineering	Módulo de avaliação de desempenho baseado em simulação e uso de Inteligência Artificial Explicável (XAI).	Inovadores e Tecnológicos.
Lu et al. (2023)	From traditional to digital: The impact of drones and virtual reality technologies on educational models	Experimento pedagógico com questionário adaptado para atitudes e satisfação, processado via SPSS .	Indiretos (Qualitativos e Afetivos).
Borges (2022)	Utilização de drones para o ensino de cinemática e leis de Newton: Uma sequência didática	Sequência Didática com pré-teste (Questionário 1), roteiro de prática (Questionário 2) e avaliação da proposta (Questionário 3).	Diretas (Quantitativas/Formativas) e Indiretos (Avaliação da proposta).
Gu et al. (2022)	Examining the influence of using first-person view drones as auxiliary devices in matte painting courses	Utilização do Technology Incentive Model (TIM) e modelagem de equações estruturais para avaliar o interesse e o “fluxo” (<i>flow</i>).	Indiretos (Afetivos e Modelagem Estatística).
Mathews et al. (2023)	Enhancing middle school learning about geography and topographic maps	Comparação de testes via Wilcoxon signed-rank e reflexões escritas de alunos e professores.	Diretas (Quantitativas) e Indiretos (Qualitativos).

Silva et al. (2018)	O uso de aeronave remotamente pilotada nas aulas práticas de estudo do relevo e de impactos ambientais	Observação direta e formulário avaliativo individual (escala e impressões escritas).	Indiretos (Qualitativos e Percepção).
Djatkiko et al. (2021)	Development and Effectiveness of Drone as a Learning Media in Islamic Boarding School	Teste de eficácia beta com Wilcoxon Signed Ranks Test para medir a compreensão antes e depois do treino.	Diretas (Quantitativas e Formativas).
Zardo et al. (2021)	Como um drone voa? Descubra nas aulas de Física!	Questionário inicial de concepções prévias, cálculos de física durante o percurso e relato de pontos positivos/negativos.	Diretas (Cálculos de desempenho) e Indiretos (Percepção).

Fonte: Os autores (2025).

Durante a análise desses materiais, é possível perceber que nos trabalhos que utilizaram os métodos de avaliação direta (Quantitativas e Formativas), predominam o uso da Taxonomia de Bloom (Yepes; Barone; Porciuncula, 2021; Yiu Yeung; Sun; Ho Yeung, 2025) para estruturar testes de conhecimento e o uso de rubricas específicas para avaliar habilidades práticas (psicomotoras) (Yiu Yeung; Sun; Ho Yeung, 2025), como a construção de sistemas ou precisão em voo.

Para os métodos avaliativos indiretos (Qualitativas e Afetivas), categoria mais comum para medir o impacto motivacional, destacam-se o instrumento SALG (*Student Assessment of their Learning Gains*) o qual diz respeito a um processo avaliativo onde o próprio estudante descreve seus ganhos (Abichandani et al., 2023; Lobo et al., 2021). Além

disso, há as entrevistas semiestruturadas (Moura, 2023; Yepes; Barone; Porciuncula, 2021) e os diários/reflexões escritas (Mathews; Dechano-Cook; Bloom, 2023; Yiu Yeung; Sun; Ho Yeung, 2025).

Por fim, para os métodos avaliativos definidos como inovadores e tecnológicos, o uso de Inteligência Artificial Explicável (XAI) para dar *feedback* automático aos alunos e a integração com o Metaverso/Simuladores representam o que há de mais avançado no monitoramento e avaliação do aprendizado mediado por drones (Yun *et al.*, 2024).

À luz das competências previstas na Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), particularmente aquelas relacionadas ao raciocínio lógico, à resolução de problemas e ao uso crítico de tecnologias digitais, a avaliação pode ser organizada em três dimensões complementares: dimensão conceitual; dimensão processual; e dimensão analítica.

A dimensão conceitual refere-se à compreensão dos conteúdos envolvidos na atividade. Trata-se de mensurar o que se aprendeu de uma determinada disciplina a partir do uso do drone.

Podem ser observados, por exemplo:

- a. Correta identificação de relações geométricas e espaciais;
- b. Aplicação adequada de fórmulas e conceitos;
- c. Capacidade de justificar o raciocínio utilizado.

Essa dimensão permite verificar se o uso do drone contribuiu efetivamente para a compreensão dos conceitos curriculares, e não apenas para a execução de uma atividade prática.

Já a dimensão procedimental relaciona-se à organização das ações necessárias para resolver o problema proposto. Remete-se a capacidade de raciocínio e a estruturação das ideias do aluno.

Podem ser considerados:

- a. Estruturação lógica dos comandos de voo;
- b. Coerência entre planejamento e execução;
- c. Capacidade de revisar estratégias diante de resultados inesperados.

Aqui, avalia-se a articulação entre cálculo, programação e experimentação, evidenciando o desenvolvimento de habilidades associadas ao pensamento computacional.

Por fim, a dimensão analítica envolve a capacidade de interpretar e analisar os resultados obtidos durante a atividade. Remete-se à compreensão do que está acontecendo, em uma relação de causa e efeito.

Podem ser observados:

- a. Identificação de discrepâncias entre o planejado e o executado;

- b. Capacidade de explicar possíveis erros;
- c. Proposição de ajustes ou melhorias.

Essa dimensão reforça o caráter investigativo da proposta, aproximando a atividade de práticas científicas de análise e validação de resultados.

Quando as atividades forem realizadas em grupo, também pode ser pertinente observar aspectos colaborativos, como divisão de tarefas e argumentação entre os participantes, especialmente em propostas que envolvam planejamento conjunto de trajetórias ou resolução de desafios.

Para operacionalizar essa abordagem avaliativa, podem ser utilizados instrumentos como:

- a. Rubricas com critérios previamente explicitados;
- b. Registros escritos das estratégias adotadas;
- c. Apresentações orais dos projetos desenvolvidos;
- d. Momentos de autoavaliação.

Essa organização não é rígida e tão pouco determinística, podendo haver outras configurações possíveis no processo avaliativo, conforme a experiência e a compreensão a respeito da utilização de drones como recurso pedagógico evolui no repertório do educador. A intencionalidade da aula pode requerer uma atenção maior em uma dessas dimensões em detrimento das demais.

Além disso, permite que a avaliação esteja alinhada à proposta pedagógica apresentada, garantindo coerência entre fundamentação teórica, planejamento da atividade e análise dos resultados. Avaliar o uso de drones na educação, portanto, significa examinar como o estudante articulou conceitos, programação e experimentação na construção do conhecimento, integrando teoria e prática de maneira significativa.

5.3.6 Formação docente para o uso pedagógico de drones

A introdução de novas tecnologias no ambiente escolar frequentemente gera a expectativa de que sua simples presença seja suficiente para produzir mudanças no processo de ensino e aprendizagem. No entanto, a experiência acumulada em diferentes contextos educacionais demonstra que a efetividade dessas tecnologias depende, em grande medida, das condições de formação dos professores responsáveis por sua utilização.

A investigação que deu origem a este material foi conduzida a partir da perspectiva da pesquisa-formação, abordagem que compreende a formação docente como um processo construído na articulação entre experiência, reflexão e produção de conhecimento profissional. Conforme argumenta Nóvoa (1992), a formação de professores não ocorre apenas em cursos formais, mas também nas situações em que o professor analisa sua própria prática e reconstrói

seus modos de ensinar a partir das experiências vividas. Nessa mesma direção, Josso (Josso, 2004, 2006, 2007) destaca que os processos formativos se consolidam quando o sujeito atribui sentido às experiências que vivencia em seu percurso profissional.

Neste movimento, surge este livro, que foi pensado como um material de apoio, que no decorrer de seu uso durante a formação, foi sendo expandido e transformado. A aproximação dos professores com este guia e com o uso de drones ocorreu por meio de atividades formativas que envolveram momentos de leitura, de exploração do equipamento, de discussão coletiva das possibilidades pedagógicas e elaboração de propostas de aula.

Esse processo evidenciou que a familiarização com a tecnologia não ocorre de maneira imediata. Inicialmente, as preocupações dos participantes estavam relacionadas principalmente ao funcionamento do drone e às condições de segurança para sua utilização. À medida que essas questões foram sendo compreendidas, passaram a emergir reflexões sobre como integrar o recurso às práticas pedagógicas já desenvolvidas na escola.

Os dados obtidos durante a investigação indicaram que a experimentação orientada desempenha papel importante nesse processo. Quando os professores têm a oportunidade de manipular o equipamento, observar seus comportamentos e discutir coletivamente suas potencialidades, passam a

reconhecer novas possibilidades de utilização do drone em atividades didáticas. Esse movimento de exploração e reflexão contribui para reduzir a percepção inicial de complexidade tecnológica e favorece a construção de confiança para a realização de experiências pedagógicas com os estudantes.

Outro aspecto observado refere-se à importância da colaboração entre professores. Em diversos momentos da formação, a troca de experiências entre os participantes permitiu que ideias inicialmente isoladas fossem ampliadas e transformadas em propostas de atividade mais estruturadas. Essa dimensão colaborativa é apontada por Santos, Carvalho e Pimentel (2016) como elemento fundamental nos processos de formação docente, especialmente quando se trata da incorporação de tecnologias emergentes no contexto escolar.

A organização das atividades formativas realizadas durante a investigação também pode ser compreendida à luz do modelo SOAR (*Safety, Operation, Active Learning and Research*), apresentado por Carnahan, Zieger e Crowley (2016) no livro *Drones in Education: Let Your Students' Imaginations Soar* que em tradução livre é segurança, operação, aprendizagem ativa e pesquisa. Esse modelo propõe que a introdução dessa tecnologia na educação ocorra de maneira progressiva, iniciando pela compreensão das condições seguras de utilização do equipamento, passando pelo domínio de sua operação básica e avançando para atividades investigativas que promovam aprendizagem ativa e exploração científica.

Nesse sentido, a formação docente para o uso pedagógico de drones não deve ser compreendida como etapa pontual ou meramente instrumental. A exemplo do demonstrado na Figura 16, no capítulo “Os drones como recurso pedagógico”, trata-se de um processo gradual, no qual os professores exploram a tecnologia, refletem sobre suas experiências e reinterpretem suas práticas pedagógicas à luz das novas possibilidades abertas pelo recurso tecnológico.

A dinâmica observada durante a formação aproxima-se dessa lógica progressiva proposta pelo modelo SOAR. Inicialmente, as atividades concentraram-se na compreensão das condições de segurança e na familiarização com a operação do equipamento. À medida que os participantes adquiriram maior confiança no uso do drone, as discussões passaram a incorporar possibilidades pedagógicas mais amplas, incluindo o planejamento de atividades investigativas e a exploração de conceitos científicos e matemáticos em situações de experimentação.

De uma forma cíclica, a cada novo conhecimento sobre o equipamento e suas funcionalidades e limitações, foi possível relacionar a um novo conjunto de possibilidades pedagógicas, em que o foco não era o drone, mas o que ele poderia representar dentro de um contexto de conteúdo apresentado ou qual materialidade ele poderia representar sobre determinada teoria apresentada.

Assim, a integração de drones ao contexto educacional depende menos da sofisticação do equipamento e mais das oportunidades formativas oferecidas aos professores. Quando essas oportunidades estão presentes, o drone deixa de ser percebido apenas como um dispositivo tecnológico e passa a constituir um recurso que pode ampliar as possibilidades de trabalho pedagógico em sala de aula.

5.3.7 Exemplos de utilização de drones no ensino

Neste capítulo, como forma de demonstrar as possibilidades de uso de um drone no contexto de sala de aula, traçaremos um breve roteiro considerando um conteúdo do ensino fundamental da disciplina de matemática de acordo com a Base Nacional Comum Curricular. A proposta aqui apresentada não representa a verdade sobre a discussão do uso desse recurso pedagógico em sala de aula, mas sim um pequeno exercício de tantas possibilidades que possam ser exploradas.

Ainda que estes planos de aula ilustrem algumas possibilidades de utilização pedagógica de drones no ensino de matemática e física, é importante reconhecer que esse campo ainda apresenta diferentes dimensões que demandam investigação mais aprofundada. Entre elas destaca-se a discussão sobre acessibilidade e inclusão no uso educacional de drones.

Embora tais questões sejam amplamente debatidas no campo das tecnologias digitais e da robótica educacional, ainda são escassos estudos que explorem de forma sistemática suas implicações específicas em atividades envolvendo dispositivos aéreos não tripulados no contexto escolar. No âmbito da pesquisa-formação que deu origem a este livro, o foco esteve concentrado na formação docente e na exploração inicial das possibilidades pedagógicas dessa tecnologia. Assim, o desenvolvimento de estratégias inclusivas para o uso educacional de drones configura-se como um campo promissor para investigações futuras, demandando aprofundamento teórico e empírico que ultrapassa os objetivos desta obra.

5.3.7.1 Plano de aula: Explorando o plano cartesiano com o drone Tello

Disciplina: Matemática.

Plano de Aula: Explorando o plano cartesiano com o *drone Tello*.

Público-alvo: Alunos do 5º ano do Ensino Fundamental.

Competência(s):

- Competência Geral 01 (Conhecimento): Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva;
- Competência Geral 05 (Cultura Digital): Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.

Habilidade(s):

- EF05MA14 - Utilizar e compreender diferentes representações para a localização de objetos no plano, como mapas, células em planilhas eletrônicas e coordenadas geográficas, a fim de desenvolver as primeiras noções de coordenadas cartesianas;
- EF05MA15 - Interpretar, descrever e representar a localização ou movimentação de objetos no plano cartesiano (1º quadrante), utilizando coordenadas cartesianas, indicando mudanças de direção e de sentido e giros.

Duração: 3 aulas de 50 minutos.

Objetivos Gerais:

- Compreender o conceito de plano cartesiano e suas aplicações na representação de posições e movimentos;
- Identificar e localizar pontos no plano cartesiano utilizando coordenadas;
- Relacionar o movimento do *drone Tello* com os conceitos de coordenadas e programação;
- Desenvolver habilidades de resolução de problemas, pensamento espacial, programação básica (blocos) e trabalho em equipe.

Recursos:

- Drone DJI Tello (ou Tello EDU);
- *Software* de programação para o Tello (*Scratch3-Tello* ou *Python* com a biblioteca TelloPy);
- Computadores ou tablets com acesso à internet e *software* de programação instalado/ acessível;
- Projetor, Televisor ou lousa digital;
- Fita adesiva colorida ou cones para marcar eixos e pontos no chão (formando um grande plano cartesiano);
- Planilhas ou papel milimetrado para planejamento e registro de coordenadas;
- Baterias extras para o Tello e carregadores;
- Régua ou trena para medir distâncias no plano cartesiano físico;
- Câmera para registrar as atividades (opcional).

Etapas da Aula:**Aula 1: Introdução ao plano cartesiano e ao *drone Tello* (50 minutos)**

1. (10 min) Aquecimento e Introdução ao Plano Cartesiano:

- a. Iniciar com uma pergunta: “Como podemos descrever a localização exata de um objeto em um espaço bidimensional, como um mapa ou a tela de um jogo?”

- b. Breve discussão sobre sistemas de referência (mapas com coordenadas, assentos em um teatro, Batalha Naval, quadras e ruas de um bairro);
 - c. Apresentar formalmente o conceito de plano cartesiano: eixos X (abscissas) e Y (ordenadas), origem (0,0), quadrantes e a representação de pontos como pares ordenados (x,y);
2. (15 min) Conectando o Plano Cartesiano com o *drone Tello*:
- a. Apresentar o *drone Tello*: suas principais características (pequeno, leve, seguro para ambientes internos, programável);
 - b. Mostrar vídeos curtos do Tello realizando voos programados ou controlados com precisão;
 - c. Perguntar aos alunos: “Como vocês acham que o Tello consegue se mover para locais específicos ou seguir uma rota programada?”
 - d. Introduzir a ideia de que o Tello utiliza um sistema de coordenadas interno para entender comandos de movimento (para frente, para trás, para os lados, para cima, para baixo) e que podemos relacionar isso ao plano cartesiano.
3. (20 min) Atividade Prática - Mapeando o Espaço (Sem drone ainda):

Dividir a turma em pequenos grupos;

- a. Delimitar uma área no chão da sala (ou pátio) como um “mini plano cartesiano” usando fita adesiva para os eixos X e Y, marcando a origem e algumas unidades em cada eixo;
 - b. Distribuir objetos pequenos (ex.: blocos de montar, cones pequenos) e pedir para cada grupo posicionar seus objetos em coordenadas específicas dadas pelo professor (ex.: Ponto A (2,3), Ponto B (1,2));
 - c. Discutir as dificuldades, a importância da precisão e a convenção dos sinais nos quadrantes.
4. (5 min) Conclusão e Próximos Passos:
- a. Recapitular os conceitos de plano cartesiano e coordenadas;
 - b. Anunciar que na próxima aula, eles usarão o *drone Tello* para explorar esses conceitos de forma mais dinâmica, programando seus movimentos.

Aula 2: Programando o Tello no Plano Cartesiano (50 minutos)

1. (10 min) Revisão, Segurança e Introdução à Programação do Tello:
- a. Revisar rapidamente os conceitos da aula anterior;
 - b. Apresentar as regras de segurança para o voo com o Tello (área de voo livre, cuidado com hélices, etc.);

- c. Introduzir a interface de programação escolhida (*Scratch3-Tello*). Mostrar os blocos de comando básicos de movimento (decolar, pousar, mover para frente/ para trás/esquerda/direita por X cm, girar);
 - d. Demonstrar como conectar o Tello ao dispositivo de programação e executar um comando simples (ex.: decolar, mover 50cm para frente, pousar).
2. (30 min) Atividade Prática - Missão Tello: Pontos Cardeais e Coordenadas:
- a. Manter o plano cartesiano no chão. Marcar pontos (A, B, C, D) com coordenadas visíveis (ex.: A(50,32), B(150,25), C(150,80), D(50,5) – as unidades devem ser em cm e compatíveis com os comandos do Tello);
 - b. **Desafio 1:** Visitando Pontos Cardeais:
 - i. Os alunos, em grupos, programam o Tello para decolar da origem (0,0), visitar o Ponto A, retornar à origem, visitar o Ponto B, retornar à origem, e assim por diante para C e D, pousando na origem ao final;
 - ii. Eles precisarão traduzir as coordenadas dos pontos em comandos de movimento para o Tello (ex.: para ir a A(50,0) a partir da origem, o comando seria “mover para frente 50 cm” se o drone estiver orientado com o eixo X positivo).
 - c. **Desafio 2:** Trajetória Definida por Coordenadas:
 - i. Fornecer uma sequência de coordenadas (ex.: (0,0) -> (50,50) -> (50,100) -> (0,100) -> (0,0) para formar um retângulo);
 - ii. Os alunos devem programar o Tello para seguir essa trajetória;
 - iii. Incentivar o planejamento da rota no papel milimetrado antes de programar.
3. (10 min) Discussão e Registro:
- a. Discutir os desafios: precisão do drone, conversão de coordenadas para comandos, influência de pequenas correntes de ar (se houver);
 - b. Como a orientação inicial do drone afeta os comandos de movimento?
 - c. Os alunos registram os comandos utilizados, as trajetórias observadas e as dificuldades encontradas.

Aula 3: Desafios Criativos e Aplicações com o Tello (50 minutos)

1. (10 min) Revisão e Introdução ao Desafio Criativo:
- a. Revisar os conceitos de coordenadas e a programação de movimentos do Tello;
 - b. Propor um desafio mais aberto e criativo: “Desenhe com o *drone Tello*” ou “Missão de Reconhecimento”;
2. (30 min) Atividade Prática - Desafio Criativo com Tello:
- a. **Desafio 1:** Desenhando Formas Geométricas ou Letras:

- i. Pedir aos grupos para escolherem uma forma geométrica simples (triângulo, quadrado, letra M, etc.) e programarem o Tello para “desenhá-la” no ar, movendo-se entre vértices definidos por coordenadas no plano cartesiano demarcado;
 - ii. Eles devem primeiro desenhar a forma no papel milimetrado, definir as coordenadas dos vértices e depois traduzir isso em uma sequência de comandos para o Tello;
 - b. **Desafio 2:** Caça ao Tesouro Simples (Opcional):
 - i. Marcar um “tesouro” (um alvo no chão) em uma coordenada específica;
 - ii. Os alunos programam o Tello para decolar, voar até a coordenada do tesouro, pairar por alguns segundos (simulando a “captura” ou “foto”) e retornar à base;
 - iii. Pode-se usar a câmera do Tello para tirar uma foto do alvo, se a programação permitir e for simples de implementar.
3. (10 min) Apresentação dos Projetos e Conclusão:
 - a. Cada grupo apresenta sua forma “desenhada” ou o sucesso na missão de reconhecimento/caça ao tesouro, explicando o processo de planejamento e programação;
 - b. Discutir aplicações reais onde drones precisam seguir trajetórias precisas baseadas em coordenadas (fotografia e filmagem aérea, inspeções, entregas futuras);
 - c. Reforçar como o plano cartesiano é uma ferramenta fundamental para a programação de robôs e drones.

Avaliação:

- Observação da participação, colaboração e engajamento dos alunos nas atividades práticas.
- Análise dos programas criados para o Tello (lógica, sequência de comandos, uso correto das coordenadas).
- Precisão na execução das trajetórias planejadas com o drone.
- Qualidade dos registros (planejamento no papel, anotações sobre os desafios).
- (Opcional) Pequeno quiz ou apresentação dos alunos sobre os conceitos aprendidos e como eles se aplicam ao voo do drone.

Considerações de Segurança Específicas para o Tello:

- Voar em ambientes internos ou externos sem vento, pois o Tello é muito leve.
- Garantir que a área de voo esteja livre de obstáculos e pessoas não envolvidas na atividade.

- Instruir os alunos a manterem distância segura do drone enquanto ele estiver voando.
- Ter sempre o controle manual (via *App* no celular/*tablet*) pronto para intervir se necessário, mesmo durante voos programados.
- Verificar as baterias do Tello antes de cada voo e ter baterias carregadas de reserva para evitar interrupções longas.
- Ensinar o comando de pouso de emergência.

Adaptações:

- **Nível Iniciante (*Scratch3-Tello*):** Focar em movimentos mais simples, menos pontos, e usar a programação em blocos que é mais visual e intuitiva.
- **Nível Avançado (*Python*):** Introduzir a programação em *Python* com a biblioteca TelloPy, permitindo maior controle e a criação de funções para movimentos complexos, ou até mesmo a integração com a câmera para tarefas simples de visão computacional (se o tempo e o conhecimento permitirem).
- **Gamificação:** Transformar os desafios em jogos com pontuações por precisão, tempo ou criatividade.
- **Número restrito de drones:** Se o número de drones for limitado, organizar as atividades em estações de rotação, onde alguns grupos planejam no papel, outros programam no computador/*tablet*, e um grupo por vez testa com o drone.

5.3.7.2 Plano de aula: Explorando vetores com drone Tello (controle manual)

Disciplina: Física.

Plano de Aula: Explorando vetores com o *drone Tello* (controle manual).

Público-alvo: Alunos do 1º Ano do Ensino Médio.

Competência(s):

- Competência Específica 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que respeitem e promovam a saúde individual e coletiva, a sustentabilidade socioambiental e o respeito à diversidade;
- Competência Específica 3: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

Habilidade(s):

- EM13CNT101: Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.
- EM13CNT301: Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos (gráficos, esquemas, tabelas, etc.) para investigar situações problema, planejar e realizar atividades de campo e laboratoriais e comunicar resultados e conclusões.

Duração: 1 aula de 50 minutos.

Objetivos Gerais:

- Compreender o conceito de grandeza vetorial, identificando módulo, direção e sentido;
- Representar vetores (especialmente o vetor deslocamento) no plano cartesiano;
- Relacionar o movimento de um objeto (*drone Tello*) com a representação vetorial de seu deslocamento;
- Desenvolver a capacidade de observação, representação e trabalho em equipe.

Recursos:

- Drone Tello (com aplicativo para controle manual em smartphone/*tablet*);
- Smartphones/tablets para controlar o Tello;
- Fita adesiva colorida (ou giz) para marcar eixos e pontos no chão (formando um grande plano cartesiano);
- Cones pequenos ou marcadores para pontos específicos;
- Papel milimetrado para cada grupo de alunos;
- Régua;
- Lousa, televisão ou projetor;
- Baterias extras para o Tello e carregadores.

Etapas da Aula:**Aula 1: Vetores em Movimento com o Tello (50 minutos)**

1. (10 min) Aquecimento e Introdução aos Vetores:

- a. O professor inicia lembrando brevemente o plano cartesiano (eixos X e Y, origem, coordenadas) e sua utilidade para localizar pontos;

- b. Questionar os alunos: “Se eu descrevo um movimento apenas pela distância percorrida, como ‘andei 5 metros’, essa informação é suficiente para saber exatamente para onde fui e como cheguei lá? O que mais seria importante saber?”;
 - c. Introduzir a diferença entre grandezas escalares (que são completamente definidas por um valor numérico e uma unidade, como massa ou tempo) e grandezas vetoriais (que necessitam de módulo/intensidade, direção e sentido para serem completamente definidas, como deslocamento, velocidade, força);
 - d. Apresentar o vetor deslocamento como um exemplo prático e visual de grandeza vetorial;
 - e. Explicar graficamente como um vetor é representado por uma seta: o comprimento da seta indica o módulo, a linha sobre a qual a seta está indica a direção, e a ponta da seta indica o sentido.
2. (30 min) Atividade Prática - Mapeando deslocamentos vetoriais com o *drone Tello*:
- a. Preparação do Ambiente e dos Grupos:
 - i. No chão da sala (ou em um espaço amplo e seguro), demarcar um plano cartesiano utilizando fita adesiva. Marcar a origem (0,0) e algumas unidades nos eixos X e Y (ex.: de 50 em 50 cm, ou 1 em 1 metro, adaptando ao espaço disponível);
 - ii. Dividir a turma em pequenos grupos (3-4 alunos);
 - iii. Distribuir para cada grupo papel milimetrado e régua.
 - b. Demonstração e Instruções de Segurança com o Tello:
 - i. O professor demonstra rapidamente como controlar o *drone Tello* manualmente usando o aplicativo no smartphone/*tablet* (decolagem, pouso, movimentos para frente, para trás, esquerda, direita);
 - ii. Revisar as regras básicas de segurança: manter distância segura do drone, não tocar nas hélices em movimento, voar em baixa altitude e velocidade controlada para esta atividade.
 - c. Execução dos Desafios Vetoriais:

Desafio 1:

- Representando um Vetor Deslocamento Único:
 - O professor (ou um aluno previamente instruído e supervisionado) posiciona o *drone Tello* na origem (0,0) do plano cartesiano demarcado no chão;

- O piloto move o drone da origem até um ponto A (ex.: (100 cm, 50 cm) ou outro ponto claramente marcado no chão);

Cada grupo deve:

1. Observar atentamente o movimento do drone;
 2. No papel milimetrado, representar o vetor deslocamento da origem (O) até o ponto A (vetor OA). Utilizar uma escala apropriada (ex.: 1 cm no papel = 20 cm reais, ou 1 unidade no papel = 1 unidade no chão);
 3. Identificar e anotar as características do vetor OA: seu módulo (estimar a distância percorrida em linha reta, pode-se usar a contagem das unidades no plano cartesiano do chão ou, se possível, medir com uma trena após o voo), sua direção (ex.: horizontal, vertical, diagonal) e seu sentido (ex.: para a direita e para cima, para leste, etc.);
- Após alguns minutos, discutir em conjunto as representações. O professor pode desenhar na lousa a representação vetorial correta, destacando módulo, direção e sentido.

Desafio 2: Deslocamentos Sucessivos e Vetor Resultante (Introdução Intuitiva à Soma Vetorial):

- O drone parte novamente da origem (0,0), realiza um primeiro deslocamento até um ponto A (ex.: (50 cm, 0 cm));
 - Em seguida, a partir do ponto A, o drone realiza um segundo deslocamento até um ponto B (ex.: A vai para B, onde B está em (50 cm, 100 cm) em relação à origem, ou seja, o segundo deslocamento foi de (0 cm, 100 cm) a partir de A);
 - Os grupos devem representar no papel milimetrado os dois vetores deslocamento: o vetor OA e o vetor AB;
 - O professor questiona: “Qual foi o deslocamento total do drone, desde a origem (O) diretamente até o ponto final (B)? Como podemos representar esse vetor que liga o início do primeiro movimento ao final do segundo movimento (vetor OB)?”;
 - Incentivar os alunos a desenharem esse vetor resultante (OB) e a discutirem como ele se relaciona com os vetores individuais OA e AB (regra do polígono, de forma intuitiva).
- 3.** (10 min) Discussão, Sistematização e Conclusão:
- a. Compartilhamento e Análise:
 - Alguns grupos apresentam suas representações vetoriais para o Desafio 2, explicando como chegaram ao vetor resultante;
 - Discutir as dificuldades encontradas (ex.: precisão do controle manual do drone para atingir os pontos exatos, estimativa do módulo, descrição clara da direção e sentido);
 - Sistematização dos Conceitos:

1. O professor retoma os conceitos de módulo, direção e sentido, utilizando os exemplos práticos observados com o drone;
 2. Reforçar como o plano cartesiano é essencial para descrever a posição inicial e final de um deslocamento e, conseqüentemente, para definir um vetor deslocamento;
 3. Mencionar brevemente que a ideia de somar deslocamentos (vetor resultante) é fundamental em física para entender o efeito combinado de várias influências (como múltiplas forças atuando em um corpo).
- Conclusão da Aula:
1. Recapitular os principais aprendizados: o que é uma grandeza vetorial, como representamos um vetor (módulo, direção, sentido) e como o movimento de um drone pode ser descrito usando vetores no plano cartesiano.

Avaliação:

- Observação da participação ativa e do engajamento dos alunos durante as atividades práticas e as discussões em grupo e com a turma.
- Análise das representações vetoriais produzidas pelos grupos no papel milimetrado: verificar a correta aplicação da escala, a representação do módulo (comprimento da seta), da direção e do sentido.
- Capacidade dos alunos de descrever verbalmente os deslocamentos observados, utilizando a terminologia de vetores (módulo, direção, sentido) e relacionando-os com o plano cartesiano.

Considerações de Segurança:

- Priorizar a segurança durante toda a atividade de voo do *drone Tello*. Apenas o professor ou alunos devidamente instruídos e supervisionados devem pilotar o drone.
- Garantir que a área de voo seja interna (preferencialmente) ou externa sem vento, e esteja completamente livre de obstáculos e de pessoas que não estejam diretamente envolvidas na atividade.
- Instruir todos os alunos a manterem uma distância segura do drone enquanto ele estiver em operação.
- Ter sempre o dispositivo de controle manual (smartphone/*tablet* com o *App Tello*) pronto para intervir e pousar o drone rapidamente em caso de necessidade.
- Verificar as baterias do Tello antes da aula e, se possível, ter baterias carregadas de reserva para garantir a continuidade da atividade.

Adaptações:

- **Simplificação:** Se a turma tiver mais dificuldade, focar apenas no Desafio 1 (representação de um único vetor deslocamento), dedicando mais tempo à discussão e representação dessa situação.
- **Complexidade:** Para turmas mais avançadas ou com mais tempo, pode-se introduzir a decomposição de vetores nos eixos X e Y, ou explorar a ideia de vetores velocidade (observando o quão rápido o drone se move em diferentes direções).
- **Recursos:** Caso não haja papel milimetrado disponível, os alunos podem fazer as representações em cadernos quadriculados ou mesmo em papel sulfite, com o professor orientando sobre a importância da proporcionalidade nas representações.
- **Controle do drone:** Enfatizar que, com o controle manual, a precisão pode não ser perfeita. O objetivo principal é a compreensão dos conceitos vetoriais e sua representação, e não a execução de voos milimetricamente exatos. A discussão sobre as limitações do controle manual pode ser, inclusive, um ponto de aprendizado.

5.3.7.3 Plano de aula: Explorando a relação entre triângulo e circunferência (programação em bloco)

Disciplina: Matemática.

Plano de Aula: Explorando a relação entre triângulo e circunferência (programação em bloco).

Público-alvo: Alunos do Ensino Médio (1º ou 2º Ano, a depender do aprofundamento).

Competência(s):

- Competência Específica 3: Utilizar estratégias, conceitos, definições e procedimentos matemáticos para interpretar, construir modelos e resolver problemas em diversos contextos, analisando a plausibilidade dos resultados e a adequação das soluções propostas, de modo a construir argumentação consistente;
- Competência Específica 4: Compreender e utilizar, com flexibilidade e precisão, diferentes registros de representação matemáticos (algébrico, geométrico, estatístico, computacional etc.), na busca de solução e comunicação de resultados de problemas.

Habilidade(s):

- (EM13MAT308) Aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos;
- (EM13MAT405) Utilizar conceitos iniciais de uma linguagem de programação na implementação de algoritmos escritos em linguagem corrente e/ou matemática.

Duração: 2 aula de 50 minutos.

Objetivos Gerais:

- Compreender a formação de triângulos em um contexto de voo orbital de drone;
- Aplicar conceitos de trigonometria (seno, cosseno, tangente) e geometria (polígonos regulares) para calcular distâncias e ângulos;
- Relacionar o movimento do drone com a representação geométrica no plano cartesiano;
- Desenvolver habilidades de programação lógica para controlar o drone, utilizando variáveis dinâmicas;
- Estimular o pensamento crítico e o pensamento computacional e a resolução de problemas em um ambiente prático e tecnológico;
- Relacionar o movimento de um objeto (*drone Tello*) com a representação vetorial de seu deslocamento;
- Desenvolver a capacidade de observação, representação e trabalho em equipe.

Recursos:

- Drone Tello (ou similar, compatível com programação em blocos ou *Python*);
- Computador com aplicativo de programação para o drone (ex.: Tello Edu, Scratch, *Python* com SDK);
- Fita adesiva colorida (ou giz) para marcar eixos e pontos no chão (formando um grande plano cartesiano);
- Objeto central para o voo orbital (pode ser um cone, um marcador, ou até mesmo o próprio aluno);
- Trena ou fita métrica;
- Lousa, televisão ou projetor;
- Baterias extras para o Tello e carregadores;
- Material de apoio impresso ou digital sobre trigonometria e polígonos regulares.

Etapas da Aula:**Aula 1: Fundamentos Geométricos do Voo Orbital (50 minutos)****1. (10 min) Aquecimento e Introdução:**

- a. O professor inicia a aula relembrando conceitos fundamentais de geometria plana, como o plano cartesiano (eixos X e Y, origem, coordenadas) e a importância da localização de pontos;

- b. Em seguida, introduz a ideia de um polígono regular e suas propriedades, como o número de lados, ângulos internos e externos, e a relação com um círculo circunscrito. Pode-se questionar os alunos sobre como um drone poderia voar ao redor de um objeto, mantendo uma distância constante, e como isso se assemelha a uma forma geométrica;
 - c. A discussão deve levar à conclusão de que um voo orbital, com fotos tiradas em intervalos regulares, forma um polígono regular com o objeto no centro. Este é o ponto de partida para a aplicação dos triângulos.
2. (30 min) Atividade Teórica - Desvendando o Triângulo no Voo Orbital:
- a. Nesta etapa, o foco é na matemática por trás do voo. O professor apresenta o cenário:
 - i. o drone decola do ponto $(0,0)$, que também é o centro do objeto a ser fotografado;
 - ii. O aluno deverá definir a distância do objeto (que será o raio do círculo circunscrito ao polígono, em centímetros) e o número de fotos a serem tiradas (que corresponderá ao número de lados do polígono regular);
 - b. Formação do triângulo isósceles:
 - i. Explicar que a ideia de uma órbita forma um círculo ao redor do objeto e que o raio desse círculo é definido pela distância que o drone ficará do objeto que será orbitado;
 - ii. Explicar que o critério para tirar as fotos será a divisão do círculo pelo número de fotos a serem tiradas na órbita;
 - iii. Demonstrar que a formação dos triângulos isósceles se dará a partir do raio (distância do objeto) e o número de fotos definido (número de divisão da circunferência).
 - c. Cálculo do Ângulo Central:
 - i. O professor guia os alunos no cálculo do ângulo central de cada triângulo isósceles;
 - ii. Sabendo que o número de fotos determinará um dos ângulos do triângulo isósceles, que coincide com o ponto central da circunferência. Assim, sabendo que a medida do ângulo interno será 360° dividido pelo número de fotos. Por exemplo, orbitar a 100 cm e tirar 5 fotos, dividirá a circunferência 5 triângulos com 72° .
 - d. Cálculo do ângulo externo do triângulo isósceles:

i. O professor demonstrará que em virtude de não ser possível realizar uma curva saindo do ponto A para o ponto B, a circunferência será transformada em polígono de 5 lados, por exemplo, e que para o voo do drone seja correto será necessário conhecer o ângulo externo do triângulo (reta perpendicular ao centro da circunferência);

ii. Demonstrar que para encontrar o valor será necessário utilizar dois passos:

1. Dividir o triângulo isósceles ao meio criando dois triângulos retângulos. A hipotenusa de cada um desses triângulos retângulos é o raio (a distância em centímetro da órbita). O ângulo central de 72° dividido ao meio, torna-se 36° ;
2. Relembrar a propriedade de que a soma interna dos ângulos de um triângulo devem dar 180° , logo, sabendo que se trata de um triângulo isósceles é possível identificar todos os ângulos do triângulo que é $180 - 72 = 108 / 2 = 54^\circ$. Essa informação é necessária para programar o voo do drone;
3. O professor apresenta o conceito de que em um triângulo retângulo, o seno de um ângulo é igual ao lado oposto dividido pela hipotenusa. Assim, apresenta a seguinte equação:

$$\text{seno}(36) = \text{metade da base} / \text{raio}$$

$$\text{seno}(36) = (b/2)/100$$

$$b/2 = 100 \times \text{seno}(36)$$

$$b = 2 \times 100 \times \text{seno}(36)$$

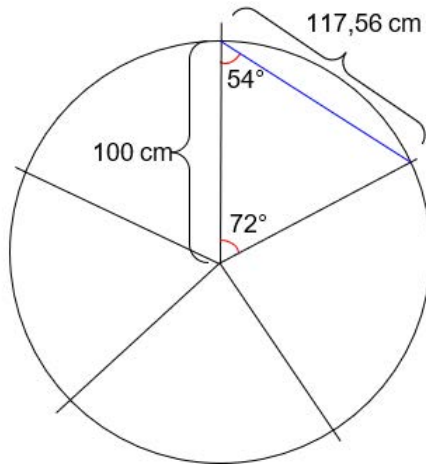
$$b = 200 \times \text{seno}(36)$$

$$\text{Usando uma calculadora, } \text{seno}(36) \approx 0.587785.$$

$$b \approx 200 \times 0.587785$$

$$b \approx 117.557 \text{ cm.}$$

Figura 18 — Exemplificação da formação dos triângulos



Fonte: Os autores (2025).

3. (10 min) Discussão, Sistematização e Conclusão:

a. Compartilhamento e Análise:

- i. O professor revisa os conceitos apresentados, enfatizando a importância dos triângulos (especialmente os isósceles formados) e da trigonometria para planejar o voo orbital;
- ii. Discute-se como a programação do drone exigirá que esses cálculos sejam feitos dinamicamente, com base na entrada do aluno (distância e número de fotos). É importante ressaltar que, como o drone não faz voos em curva, ele se moverá em segmentos retos entre os pontos de foto, formando o polígono;
- iii. O retorno ao ponto (0,0) após a última foto completa o ciclo, formando o último lado do polígono, se considerarmos o ponto inicial como o primeiro ponto do polígono. No entanto, para o retorno, o drone simplesmente voará do último ponto de foto diretamente para (0,0).

b. Conclusão da Aula:

- i. Recapitular os principais aprendizados: como cada ângulo foi identificado e como foi calculado o segmento de reta faltante;
- ii. Anunciar que na próxima aula, eles usarão o *drone Tello* para explorar esses conceitos de forma mais dinâmica, programando seus movimentos.

Aula 2: Programando o voo orbital com o drone (50 minutos)

1. (10 min) Revisão e Introdução à Programação em Blocos:
 - a. Revisão rápida dos cálculos da Aula 1;
 - b. Introdução à interface de programação em blocos do drone (ex.: Tello Edu, Scratch);
 - c. O professor demonstra como conectar o drone e os comandos básicos de voo (decolar, pousar, mover para frente, para trás, esquerda, direita, girar);
 - d. Enfatiza-se que o objetivo é traduzir os cálculos matemáticos em comandos de voo.
2. (30 min) Atividade Prática - Programando o Voo Orbital:
 - a. Dividir a turma em grupos:
 - i. Cada grupo receberá a tarefa de programar o drone para realizar o voo orbital;
 - ii. O desafio é que a programação deve ser dinâmica: o aluno deverá ser capaz de inserir a distância do objeto e o número de fotos no início do programa, e o drone deve calcular e executar o voo automaticamente;
 - b. Decolagem e Primeiro Ponto:
 - i. O drone decola do (0,0).
 1. O primeiro movimento será de ir para frente a distância informada pelo aluno;
 2. O segundo movimento será girar 180 graus para tirar a primeira foto;
 - ii. Loop de movimentos e fotos:
 1. Os alunos deverão criar um loop que se repita o número de fotos informado;
 2. Dentro do loop a primeira ação é tirar uma foto;
 3. A segunda ação será ajustar o ângulo para que o drone faça o voo lateral. O ângulo advém de identificar o ângulo interno dado pela divisão de 360 pelo número de fotos a serem tiradas informada pelo aluno menos 180 graus (que representa a soma de todos os ângulos de um triângulo) dividido por dois (por ser um triângulo isósceles dois dos ângulos são iguais). A fórmula é $(180 - \text{ângulo interno})/2$;
 4. A terceira ação, deve ser o deslocamento lateral do drone até o ponto para tirar a próxima foto. Essa distância é dada pela equação $\text{seno}(36) = \text{metade da base} / \text{raio}$, onde raio é a distância informada pelo aluno;
 5. A quarta ação deve ser o ajuste do ângulo novamente com base na informação obtida no passo 3, sendo esta a última ação antes do loop reiniciar;
 6. Ao concluir o loop o drone deve ir para frente a distância da órbita para assim pousar no ponto (0,0);

7. Última ação é pousar o drone.

3. (10 min) Discussão, Sistematização e Conclusão:

a. Compartilhamento e Análise:

- i. Os grupos apresentam seus programas e, se possível, demonstram o voo do drone;
- ii. Discutir as dificuldades encontradas na programação (ex.: precisão dos cálculos, conversão de unidades, alinhamento do drone);

b. Sistematização dos Conceitos:

- i. O professor retoma a conexão entre a matemática (geometria, trigonometria) e a programação;
- ii. Reforça como a compreensão dos triângulos e dos polígonos regulares foi essencial para planejar o voo orbital;
- iii. Destaca a importância do pensamento computacional e da capacidade de traduzir um problema do mundo real em uma sequência lógica de comandos.

c. Conclusão da Aula:

i. Recapitular os principais aprendizados:

1. Como os triângulos e polígonos regulares são aplicados em situações práticas, a importância da trigonometria para cálculos de distância e ângulo, e como a programação pode ser usada para controlar dispositivos físicos com base em princípios matemáticos;
2. Enfatizar a natureza dinâmica da solução, onde o aluno pode alterar os parâmetros do voo.

Avaliação:

- Observação da participação ativa e do engajamento dos alunos durante as atividades teóricas e práticas;
- Análise das representações geométricas e cálculos matemáticos realizados pelos grupos;
- Avaliação da lógica e funcionalidade dos programas desenvolvidos pelos alunos para o drone;
- Capacidade dos alunos de explicar a relação entre os conceitos matemáticos (triângulos, polígonos, trigonometria) e o comportamento do drone no voo orbital;
- Resolução de problemas propostos, como a adaptação do voo para diferentes cenários ou a otimização dos movimentos do drone.

Considerações de Segurança:

- Priorizar a segurança durante toda a atividade de voo do *drone Tello*. Apenas o professor ou alunos devidamente instruídos e supervisionados devem pilotar o drone.
- Garantir que a área de voo seja interna (preferencialmente) ou externa sem vento, e esteja completamente livre de obstáculos e de pessoas que não estejam diretamente envolvidas na atividade.
- Instruir todos os alunos a manterem uma distância segura do drone enquanto ele estiver em operação.
- Ter sempre o dispositivo de controle manual (smartphone/*tablet* com o *App Tello*) pronto para intervir e pousar o drone rapidamente em caso de necessidade.
- Verificar as baterias do Tello antes da aula e, se possível, ter baterias carregadas de reserva para garantir a continuidade da atividade.

Adaptações:

Simplificação: Se a turma tiver mais dificuldade, focar apenas na identificação dos ângulos e medida dos vértices, desprezando a parte de programação do voo do drone, dedicando mais tempo à discussão e representação dessa situação.

Complexidade: Para turmas mais avançadas ou com mais tempo, pode-se discutir outras formas de resolução do problema;

Recursos: Caso não haja papel milimetrado disponível, os alunos podem fazer as representações em cadernos quadriculados ou mesmo em papel sulfite, com o professor orientando sobre a importância da proporcionalidade nas representações e na execução da solução antes de executar a programação do voo do drone;

Controle do drone: Enfatizar que, com o controle via programação, a precisão pode não ser perfeita em função de derivas ou ângulos muito pequenos. O objetivo principal é a compreensão dos conceitos da identificação das trajetórias e dos ângulos, bem como das distâncias a serem percorridas durante o voo. A discussão sobre as limitações de precisão pode ser, inclusive, um ponto de aprendizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste material, exploramos os drones e seu potencial revolucionário como recurso pedagógico. Percorremos desde a história e os fundamentos técnicos desses dispositivos robóticos até as minúcias da legislação brasileira que regulamenta seu uso. Apresentamos a arquitetura complexa de um drone, desvendando seus componentes e sistemas, e exploramos as diversas formas de operá-los, desde aplicativos intuitivos até programações mais avançadas.

Apresentamos a utilização desse dispositivo como forma de auxiliar na transposição didática, processo fundamental de transformar o conhecimento científico e técnico sobre drones em um saber acessível e significativo para o contexto educacional. Não basta apenas conhecer o funcionamento de um drone, é preciso traduzir esse conhecimento em atividades, projetos e experiências que engajem os alunos, estimulem sua curiosidade e promovam a aprendizagem.

Neste material, buscamos realizar essa transposição didática de diversas maneiras. Apresentamos os conceitos técnicos de forma clara e concisa, utilizando linguagem acessível e analogias que facilitam a compreensão. Conectamos o mundo dos drones com o currículo escolar, mostrando como eles podem ser utilizados para ensinar

matemática, física, entre outras disciplinas de forma disruptiva. Compartilhamos exemplos práticos de projetos e atividades que podem ser desenvolvidos em sala de aula, inspirando os educadores a criarem suas próprias ideias.

Acreditamos que os drones podem ser muito mais do que apenas uma tecnologia emergente. Eles podem se tornar pontes entre o mundo real e o mundo da sala de aula, permitindo que os alunos explorem conceitos abstratos de forma concreta e visual. Este contato com esse dispositivo, pode despertar o interesse pela ciência e tecnologia, incentivando os jovens a se tornarem criadores e inovadores, ou ainda apresentar um vislumbre desses equipamentos, presentes no mercado de trabalho. E, acima de tudo, eles podem dar asas à imaginação dos alunos, permitindo que eles voem alto em busca de conhecimento e novas descobertas.

Esperamos que este material seja um ponto de partida para que educadores e pesquisadores rompam com o tradicional e passem a utilizar esse recurso pedagógico como forma de prender a atenção e motivar a busca pelo conhecimento. Que ele inspire a criação de projetos inovadores, o desenvolvimento de novas habilidades, impulsionando o aprendizado e a criatividade.

Lembrem-se: o futuro da educação está em nossas mãos. E com os drones, podemos dar hélices à imaginação e levar nossos alunos a voos cada vez mais altos!

REFERÊNCIAS

ABICHANDANI, Pramod *et al.* Artificial intelligence and computer vision education: codifying student learning gains and attitudes. **Computers and Education Artificial Intelligence**, v. 5, p. 100159–100159, 2023.

ABICHANDANI, Pramod *et al.* Competition-based active learning instruction for drone education. **Interactive Learning Environments**, v. 32, n. 5, p. 1795–1813, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2128821>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10494820.2022.2128821>. Acesso em: 28 set. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL. **Orientações para usuário de drones**. Brasília, DF: Assessoria de Comunicação Social – ASCOM, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf. Acesso em: 16 maio 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **OACI determina a proibição do transporte de baterias de íon lítio como carga em aeronaves de passageiros**. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2016/oaci-determina-a-proibicao-do-transporte-de-baterias-de-ion-litio-como-carga-em-aeronaves-de-passageiros>. Acesso em: 4 jul. 2025.

ALKAABI, Khaula; ABUELGASIM, Abdelgadir. Applications of unmanned aerial vehicle (uav) technology for research and education in UAE. **International Journal of Social Sciences Arts and Humanities**, v. 5, n. 1, p. 4–11, 2017. Disponível em: <http://www>.

crdeepjournal.org/wp-content/uploads/2017/08/Vol_5_1_2_IJSSAH.pdf. Acesso em: 27 mar. 2025.

AQUINO, Andrew *et al.* Self-designed drone as a platform for engineering education. *In*: GLOBAL PARTNERSHIPS FOR DEVELOPMENT AND ENGINEERING EDUCATION, 2017, Boca Raton, Florida, USA. **15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology**. Boca Raton, Florida, USA: LACCEI, 2017. Disponível em: https://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/student_Papers/SP274.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.

ARDUPILOT PLANE. **ArduPilot plane**: documentação do plane. 2024. Disponível em: <https://ardupilot.org/plane/index.html>. Acesso em: 1 maio 2025.

BORBA, Marcelo de Carvalho; SILVA, Ricardo Scucuglia Rodrigues da; GADANIDIS, George. **Fases das tecnologias digitais em educação matemática: sala de aula e internet em movimento**. 3. ed. São Paulo: Autêntica, 2020. (Tendências em educação matemática). *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 15 set. 2024.

BORGES, Naftale de Sousa. **Utilização de drones para o ensino de cinemática e leis de Newton**: uma sequência didática. 2022. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológica, Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA, 2022. Disponível em: <http://tedebc.ufma.br:8080/jspui/handle/tede/4716>. Acesso em: 30 set. 2024.

BRASIL. **Base nacional comum curricular**. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 14 ago. 2024.

BRASIL. **Cadastrar drone básico**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/cadastrar-drone-basico>. Acesso em: 4 jul. 2025.

BRASIL. **Drone consciente**: voar dentro das regras é segurança para todos. 2024a. Institucional. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=drone-consciente-voar-dentro-das-regras-e-seguranca-para-todos. Acesso em: 17 jan. 2025.

BRASIL. **Instrução do Comando da Aeronáutica, ICA 100-40, Reeditada em 03 de julho de 2023**. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Aeronaves não Tripulada e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro. 3 jul. 2023a. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/version/1542>. Acesso em: 9 jan. 2025.

BRASIL. **Manual do Comando da Aeronáutica, MCA 56-2, Reeditada em 03 de julho de 2023**. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Aeronaves Não Tripuladas Para Uso Recreativo - Aeromodelos. 15 mar. 2023b. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/mca-56-2>. Acesso em: 13 jan. 2025.

BRASIL. **Política nacional de educação digital**. 11 jan. 2023c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14533.htm. Acesso em: 16 set. 2024.

BRASIL. Portaria MAPA nº 298, de 22 de setembro de 2021. Estabelece as regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas - ARP's destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes. Portal da Imprensa Nacional do Brasil. **Diário Oficial da União**. 22 set. 2021. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/portaria-mapa-n>

298-de-22-de-setembro-de-2021-347039095. Acesso em: 7 abr. 2025.

BRASIL. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial, RBAC-E 94 EMD 03.** Agência Nacional de Aviação Civil. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. 3 maio 2023d. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 19 jul. 2024.

BRASIL. **Resolução nº 64, de 26 de novembro de 2008. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil.** Definições, regras de redação e unidades de medida para uso nos normativos da ANAC, RBAC-E no 01, Emenda no 16. 2024b. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-01>. Acesso em: 16 jan. 2025.

BRASIL. **Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil.** Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil, RBAC-E no 94, Emenda no 03. Diretoria da Agência Nacional da Aviação Civil - ANAC, Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94. 2023e. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 21 jul. 2024.

CAA, Civil Aviation Authority's of New Zealand. **Intro to part 101 rules for unmanned aircraft.** 2025. Disponível em: <https://www.aviation.govt.nz/drones/regulations/part-101-rules-for-drones/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

CARNAHAN, Chris; CROWLEY, Kimberly; ZIEGER, Laura. **Drones in education: let your students' imagination soar.** Eugene: International Society for Tech in Ed, 2016.

CARNAHAN, Christopher; ZIEGER, Laura B.; CROWLEY, Kimberly. **Drones in education: let your students' imaginations soar.** Eugene, Oregon: International Society for Technology in Education, 2016.

DEKOULIS, George. Introductory chapter: drones. *In*: DEKOULIS, George (org.). **Drones: applications.** InTech, 2018. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/drones-applications/introductory-chapter-drones>. Acesso em: 21 jan. 2025.

DRONEII. **The drone market in 2021 and beyond: 5 key takeaways.** Hamburgo, Alemanha: Drone Industry Insights, 2021. Disponível em: <https://droneii.com/wp-content/uploads/2021/08/drone-market-in-2021-2026.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.

EASA, European Union Aviation Safety Agency. **Drone regulatory system: understanding european drone regulations and the aviation regulatory system.** 2024. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/Understanding-European-Drone-Regulations-and-the-Aviation-Regulatory-System>. Acesso em: 13 jan. 2025.

EBEID, Emad Samuel Malki *et al.* A survey of open-source uav flight controllers and flight simulators. **Microprocessors and microsystems**, v. 61, p. 11-20, 2018. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141933118300930>. Acesso em: 22 jul. 2024

ESPRESSIF SYSTEMS (SHANGHAI) PTE LTD. **Get started: ESP-Drone documentation.** 2024. Documentação. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/espressif-esp-drone/en/latest/gettingstarted.html>. Acesso em: 29 jan. 2025.

FARIA, Fledson Silva. **Educações ambientais com os usos de drones e artefatos tecnoculturais na reserva de desenvolvimento sustentável dos manguezais de Cariacica**

e nos cotidianos escolares. 2021. 201 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação) – Centro de Educação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/14832>. Acesso em: 22 jul. 2024.

FARIA, Fledson Silva. Educação ambiental e os usos de drone nos cotidianos escolares. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO - COMEDU, 7., 2020, *Online*. **Anais eletrônicos** [...] Campina Grande-PB: Realize Editora, 2020. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/68478>. Acesso em: 22 jul. 2024.

FARIA, Fledson Silva; GONZALEZ, Soler. Práticas Pedagógicas no Ensino Remoto nos Cotidianos Escolares em Tempos de Pandemia. **EaD em Foco**, v. 12, n. 3, p. e1938–e1938, 2022. Disponível em: <https://eademfoco.cecierj.edu.br/index.php/Revista/article/view/1938>. Acesso em: 28 set. 2024.

GOMES, Cristiane Grava *et al.* A robótica como facilitadora do processo ensino-aprendizagem de matemática no ensino fundamental. *In*: PIROLA, N. A. (org.). **Ensino de ciências e matemática IV**: temas de investigação. São Paulo: Editora Unesp, 2010. p. 205–221. *E-book*. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/bpkng/pdf/pirola-9788579830815-%2011.pdf>. Acesso em: 17 set. 2024.

INSTITUTO SIGNIFICARE. Robótica Educativa: Drone como ferramenta de aprendizagem é temática de projeto pedagógico. *In*: INSTITUTO SIGNIFICARE. 6 ago. 2021. Disponível em: <https://significare.org.br/2021/08/06/robotica-educativa-drone-como-ferramenta-de-aprendizagem-e-tematica-de-projeto-pedagogico/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

ISSAR, Shiv. **Drone society**: an abductive analysis of civilian drone culture. 2024. OSF, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.31235/osf.io/n5xam>. Acesso em: 24 ago. 2024.

JEMALI, Noor Janatun Naim *et al.* Adopting drone technology in STEM education for rural communities. **IOP Conference Series: earth and environmental science**, v. 1064, n. 1, p. 012017, 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1064/1/012017>. Acesso em: 28 set. 2024.

JOSSO, Marie-Christine. A transformação de si a partir da narração de histórias de vida. **Educação**, v. 3, n. XXX, p. 413–438, 2007. Disponível em: Acesso em: 13 mar. 2025.

JOSSO, Marie Christine. As figuras de ligação nos relatos de formação: ligações formadoras, deformadoras e transformadoras. **Educação e Pesquisa**, v. 32, n. 2, p. 373–383, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-97022006000200012&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 19 jun. 2025.

JOSSO, Marie-Christine. **Experiência de vida e formação**. São Paulo: Cortez, 2004.

KENSKI, Vani Moreira. Aprendizagem Mediada pela tecnologia. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 4, n. 10, p. 47–56, 2003. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/dialogoeducacional/article/view/6419>. Acesso em: 16 set. 2024.

KENSKI, Vani Moreira. **Educação e tecnologias**: o novo ritmo da informação. Campinas: Papyrus Editora, 2015. (Papyrus Educação). *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/2027/pdf/0>. Acesso em: 28 maio 2025.

KENSKI, Vani Moreira. **Tecnologias e ensino presencial e a distância**. Campinas: Papyrus Editora, 2013. *E-book*. Disponível em:

<https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/2264>. Acesso em: 16 set. 2024.

KOTARSKI, Denis; KASAĆ, Josip. Generalized Control Allocation Scheme for Multirotor Type of UAVs. *In*: DEKOULIS, George (org.). **Drones**: applications. InTech, 2018. p. 43-58. *E-book*. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/drones-applications/generalized-control-allocation-scheme-for-multirotor-type-of-uavs>. Acesso em: 22 jan. 2025.

KUZMA, Joanne *et al.* Practical pedagogy for embedding drone technology into a business and computing curriculum. **Journal of Education and Human Development**, v. 7, p. 1–9, 2018.

LIBÂNIO, José Carlos. **Didática**. 2. ed. São Paulo: Cortez Editora, 2017. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788524925573/>. Acesso em: 22 ago. 2024.

LOBO, Deepan *et al.* Preparing students for drone careers using active learning instruction. **IEEE access**: practical innovations, open solutions, v. 9, p. 126216–126230, 2021.

MALEC, Jacek. Some thoughts on robotics for education. *In*: AMERICAN ASSOCIATION FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYMPOSIUM ON ROBOTICS AND EDUCATION, 2001, Califórnia, EUA. **Proceedings of the American Association for Artificial Intelligence Symposium on Robotics and Education**. Califórnia, EUA: AAAI Press, 2001. Disponível em: https://fileadmin.cs.lth.se/cs/Personal/Jacek_Malec/psfiles/aaai01rae.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.

MATHEWS, Adam J.; DECHANO-COOK, Lisa M.; BLOOM, Cynthia. Enhancing middle school learning about geography and topographic maps using hands-on play and geospatial technologies. **Journal of Geography**, v. 122, n. 5, p. 115–125, 2023.

MCGRIFFY, David. **Make**: drones: teach an Arduino to fly. San Francisco: Maker Mesia, 2017.

TUĞRUL, Koç Mehmet. Drone technologies and applications. *In*: CVETKOVIĆ, Dragan (org.). **Drones**: various applications. IntechOpen, 2023. p.1-24. *E-book*. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/1154922>. Acesso em: 28 jan. 2025.

MENDOZA-MENDOZA, Julio Alberto *et al.* **Drones to go**: a crash course for scientists and makers. Berkeley, CA: Apress L. P, 2021.

MERCADO DE DRONES AGRÍCOLAS. [S. l. s. d.], 2024. Youtube (1:13:02). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=d9qujMcJH0>. Acesso em: 27 jan. 2025.

MOURA, Aline Cruz. **Introdução do uso de VANTS nos cursos de graduação e as novas tecnologias no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília**. 2023. 87 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas, Universidade de Brasília. Brasília, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/47744>. Acesso em: 28 ago. 2024.

NASCIMENTO, Elcival Chagas do. **Descomplicando a física na educação básica**: o drone como instrumento para a alfabetização científica. 2022. 73 f. Monografia (Especialização em Educação Científica e Popularização das Ciências) – Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal Baiano, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Catu, BA, 2022. Disponível em: <https://ifbaiano.edu.br/portal/poseducacaocatu/wp-content/uploads/sites/42/2022/09/TCC-Elcival-C-Nascimento-Descomplicando-a-Fisica-na-educacao-basica....pdf>. Acesso em: 11 maio 2025.

NASCIMENTO, Elcival Chagas do. **Tudo que voa, encanta!** 2025. 92 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Profissional e Tecnológica - PROFEPT) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Catu, BA, 2025. Disponível em: <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/1000621>. Acesso em: 31 jul. 2025.

NG, Wing Shui; CHENG, Gary. Integrating drone technology in stem education: a case study to assess teachers' readiness and training needs. **Issues in Informing Science and Information Technology**, v. 16, p. 061–070, 2019. Disponível em: <https://www.informingscience.org/Publications/4288>. Acesso em: 27 set. 2024.

NÓVOA, Antonio. Formação de professores e profissão docente. *In*: NÓVOA, Antonio. **Os professores e a sua formação**. Lisboa: Dom Quixote, 1992. p. 13–33. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/4758>. Acesso em: 25 ago. 2024.

PALAIGEORGIOU, George; MALANDRAKIS, George; TSOLOPANI, Christine. Learning with drones: flying windows for classroom virtual field trips. *In*: 2017 IEEE 17TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 2017, Timisoara, Romania: IEEE, 2017. p. 338–342. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8001799/>. Acesso em: 6 fev. 2025.

PAPERT, Seymour. **A máquina das crianças**: repensando a escola na era da informática. Porto Alegre: Artmed, 2008.

PAPERT, Seymour. **Logo**: computadores e educação. São Paulo: Editora Brasiliense, 1985.

RAHMAN, Mohd Jasmy Bin Abd *et al.* Application of Drone Technology in Learning Process Strategies. **International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences**, v. 14, n. 8, p. 784–791, 2024. Disponível em: <https://hrmars.com/index.php/>

IJARBSS/article/view/22447/Application-of-Drone-Technology-in-Learning-Process-Strategies. Acesso em: 28 set. 2024.

SANTOS, Edméa Oliveira; CARVALHO, Felipe Silva Ponte; PIMENTEL, Mariano. Mediação docente online para colaboração: notas de uma pesquisa-formação na cibercultura. **ETD - Educação Temática Digital**, v. 18, n. 1, p. 23–42, 2016. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/etd/article/view/8640749>. Acesso em: 26 ago. 2024.

SHENZHEN RYZE TECHNOLOGY CO. LTD. **Tello Official Website - Shenzhen Ryze Technology Co., Ltd.** 2025. Disponível em: <https://www.rzyzerobotics.com>. Acesso em: 30 mar. 2025.

SHENZHEN RYZE TECHNOLOGY CO. LTD. **Tello release notes.** 2018a. Disponível em: https://dl-cdn.rzyzerobotics.com/downloads/Tello/20190328/Tello_Release_Notes_en.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

SHENZHEN RYZE TECHNOLOGY CO. LTD. **Tello user manual.** 2018b. Disponível em: <https://dl-cdn.rzyzerobotics.com/downloads/Tello/Tello%20User%20Manual%20v1.4.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2025.

SZ DJI TECHNOLOGY CO. **DJI GS Pro - DJI.** 2025. Disponível em: <https://www.dji.com/br/ground-station-pro>. Acesso em: 5 maio 2025.

WING, Jeannette M. Computational thinking. **Communications of the ACM**, v. 49, n. 3, p. 33–35, 2006. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1118178.1118215>. Acesso em: 27 abr. 2025.

WING, Jeannette. Pensamento computacional: um conjunto de atitudes e habilidades que todos, não só cientistas da computação, ficaram ansiosos para aprender e usar. **Revista Brasileira de**

Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 9, n. 2, p. 1-10, 2016.

Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/4711>. Acesso em: 5 out. 2024.

YEPES, Igor. **Uso de drones como tecnologia pedagógica em disciplinas steam**: um enfoque voltado ao aprendizado significativo com metodologias ativas. 2020. 240 f. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/219235>. Acesso em: 13 set. 2024.

YEPES, Igor; BARONE, Dante Augusto Couto. Robótica Educativa: Drones e Novas Perspectivas. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 16, n. 2, p. 210–219, 2018a. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/89293>. Acesso em: 9 ago. 2024.

YEPES, Igor; BARONE, Dante Augusto Couto. Robótica Educativa: Proposta de Uso de Drones no Apoio ao Processo Pedagógico em disciplinas STEM. **Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação**, v. 1, n. 9, n. p., 2018b. Disponível em: <https://revistas.setrem.com.br/index.php/reabtic/article/view/317>. Acesso em: 19 ago. 2024.

YEPES, Igor; BARONE, Dante Augusto Couto; PORCIUNCULA, Cleber Mateus Duarte. Use of drones as pedagogical technology in STEM disciplines. **Informatics in Education**, v. 21, n. 1, p. 201-233, 2021. Disponível em: <https://infedu.vu.lt/journal/INFEDU/article/693>. Acesso em: 28 set. 2024.

YEPES, Igor; BARONE, Dante Augusto Couto; PORCIUNCULA, Cleber Mateus Duarte. Use of Drones as Pedagogical Technology in STEM Disciplines. **Informatics in Education**, v. 21, n. 1, p.

201–233, 2022. Disponível em: <https://infedu.vu.lt/journal/INFEDU/article/693>. Acesso em: 28 set. 2024.

YIU YEUNG, Richard Chung; SUN, Daner; HO YEUNG, Chi Ho. Integrating drone technology in STEM education: curriculum, pedagogy and learning outcomes. **Education and Information Technologies**, v. 30, p. 14237-14272, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13368-0>. Acesso em: 6 nov. 2025.

YUN, Seong *et al.* A learner-centric explainable educational metaverse for cyber–physical systems engineering. **Electronics**, v. 13, n. 17, p. 3359–3359, 2024.

ZARDO, Michael; REIS, Cristine Elisa Ramos dos; WEBBER, Carine Geltrudes. Como um drone voa? Descubra na aula de física! **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 19, n. 2, p. 292–301, 2021. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/121229>. Acesso em: 26 set. 2024.

SOBRE OS AUTORES

Adriano Serafini Garcez

Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat (2006), especialização em Banco de Dados pela Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT (2009), Mestrado pelo Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática - PPGECM, da Universidade do Estado de Mato Grosso, Câmpus de Barra do Bugres (2025). É Profissional Técnicos da Área Meio, perfil Analista de Sistema do Estado de Mato Grosso, atualmente lotado na Unemat. Atuou como Coordenador de Pesquisa, Estudos e Indicadores, e Coordenador de Tratamento de Dados e Gestão da Informação, ambas as funções na Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-7879-9980>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2843399201231889>

E-mail: adriano.garcez@unemat.br

Fernando Selleri Silva

Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat (2004), especialização em Produção de *Software* Livre pela Universidade Federal de Lavras - UFLA (2006), mestrado em Ciência da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS (2009) e doutorado em Ciência da Computação pelo Centro de Informática - CIn da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2015). Professor no Curso de Ciência da Computação e no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática - PPGECM, da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas - FACET da Unemat,

Câmpus de Barra do Bugres/MT. Professor no Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação - PROFNIT, Ponto Focal Cuiabá (UFMT/Unemat/IFMT). Exerceu a função de Diretor Político-Pedagógico e Financeiro (DPPF) da Unemat Câmpus de Barra do Bugres, Gestão 2019/2023, e atualmente está como Diretor de Inovação Tecnológica da Agência de Inovação da Unemat (AGINOV).

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2158-4028>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0412919715126909>

E-mail: selleri@unemat.br

Flávio Teles Carvalho da Silva

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (1995), mestrado em Física pela Universidade de São Paulo (1998), doutorado em Física pela Universidade de São Paulo (2002) e Pós Doutorado em Física pela Universidade de São Paulo (2002). Professor adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat. Presidente da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - Fapemat - de 2012 - 2015. Diretor Técnico Científico da Fapemat em 2011 e de 2015 a atual.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-2830-7496>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1762767407220102>

E-mail: flavio.teles@unemat.br

ÍNDICE REMISSIVO

A

acelerômetro 36, 41, 47, 48, 50
aeromodelismo 34, 72
aeromodelo 17, 34
agricultura 13, 14, 21
altitude 13, 51, 103, 128
Anac 18, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 32, 34,
35, 55, 56, 76
Anatel 22, 23, 32
aplicativo 57, 59, 61, 62, 64, 98, 100,
101, 127, 128, 132
aprendizagem ativa 82, 84, 96, 118
arranjos de propulsão 36, 41

B

bateria 44, 45, 55, 56, 64, 72, 96, 99,
100
Bloom 110, 112, 113
Bluetooth 48
Borba 106
BVLOS 22, 27, 28, 29, 30

C

CAA 16, 144
câmera 30, 44, 48, 53, 62, 72, 99, 125,
126
Carnahan 12, 59, 68, 69, 70, 71, 92,
93, 95, 96, 97, 101, 102, 103,
118
Chris 95, 144
cinemática 87, 111, 142
circunferência 131, 133, 134

classes de drones 22
computação 152
construcionismo 108
controle remoto 52, 59, 62, 70, 72
coordenadas cartesianas 122
Crowley 12, 59, 68, 69, 70, 71, 92, 93,
95, 96, 97, 101, 102, 103, 118

D

Decea 18, 21, 22, 25, 26, 35
didática 92, 111, 139, 142
DIY 72, 101
DJI 48, 58, 60, 65, 66, 71, 72, 89, 90,
122, 151
Droneblocks 97
DRONEII 20, 21, 145
drones na educação 83, 90, 108, 116
drone Tello 126

E

EASA 16, 145
educação digital 143
educacionais 14, 59, 70, 72, 79, 81, 82,
83, 88, 89, 91, 99, 116
Engenharia 155
ESC 54
ESP-Drone 45, 71, 99, 100, 101, 145
EVLOS 22, 28, 29, 30, 33

F

Faria 87
Farroupilha 87, 89

física 10, 13, 14, 34, 56, 58, 75, 79,
85, 87, 112, 120, 130, 140,
149, 153

formação docente 10, 108, 116, 118,
119, 121

FPV 30, 48, 70, 73, 98

frame 44, 45

G

GameSir 61, 62, 63, 100

GCS 57, 58, 59, 60

geometria 107, 108, 132, 137

giroscópio 36, 41, 47, 48, 50

GNSS 50, 51

H

hélices 32, 36, 44, 45, 53, 54, 70, 74,
96, 99, 100, 123, 128, 140

história dos drones 9, 18

Hong Kong 89

I

ICA 100-40 17, 25, 26, 30, 31, 32, 77,
78, 143

IFFar 87

IMU 41, 47, 50

indoor 33, 69, 73, 74, 95

inovação 12, 108

J

Jemali 90

Josso 108, 117

K

Kenski 12, 13, 106, 108

Kimberly 144, 145

Kotarski 37, 39, 40, 41, 42

Kuzma 95

L

legislação brasileira 9, 14, 16, 28, 67,
76, 105, 139

Libâneo 69, 108

LiDAR 51

LOGO 106, 107

M

magnetômetro 36, 41, 50

MAPA 143

matemática 10, 13, 14, 58, 79, 90, 91,
107, 120, 131, 133, 137, 140,
142, 146

McGriffy 48, 50, 51, 55

microcontrolador 48

motores 36, 39, 41, 44, 45, 46, 47,
53, 54

movimento 36, 37, 64, 70, 87, 107,
117, 118, 122, 123, 124, 127,
128, 129, 130, 132, 136, 142

N

Nascimento 87, 107, 149

normas aplicáveis 22, 75

Nóvoa 108, 116

O

OACI 16, 17, 24, 26, 56, 141

operação de drones 13, 23, 67

outdoor 69, 74, 95

P

Papert 105, 106, 108, 109

pensamento computacional 79, 108,
109, 114, 132, 137

pesquisa 20, 36, 82, 84, 85, 86, 87,
88, 91, 97, 107, 108, 111, 116,
118, 121, 151

pesquisa-formação 108, 116, 121, 151

Pixhawk 58

plano cartesiano 107, 121, 122, 123,
124, 125, 127, 128, 129, 130,
132

polígono regular 133

Política Nacional de Educação Digital
9, 12

programação 13, 20, 60, 64, 71, 72,
81, 82, 89, 90, 100, 101, 102,
106, 107, 108, 110, 114, 116,
122, 124, 125, 126, 131, 132,
135, 136, 137, 138

programação em blocos 60, 126, 132,
136

R

rádio-controle 19, 72

RBAC-E nº 94 22, 30, 33, 76, 78

robótica educacional 9, 12, 86, 87, 105,
107, 108, 121

RPA 17, 18, 26, 30, 33, 34

RPAS 16, 17, 33

rubricas 90, 110, 112

S

SALG 111, 112

SARPAS 21, 23, 26, 28, 32, 33, 34,
75, 77

Scratch 60, 89, 132, 136

Scratch3-Tello 60, 61, 100, 122, 124,
126

segurança 10, 20, 24, 30, 32, 56, 75,

79, 81, 95, 96, 101, 102, 117,
118, 119, 123, 128, 130, 138,
143

sensores 36, 41, 47, 50, 51, 53, 57, 64,
70, 74, 75, 81, 100

simuladores 82, 97, 98, 99

SISANT 32, 34, 55

SOAR 81, 95, 97, 118, 119

software 16, 57, 59, 61, 84, 122

STEAM 86

STEM 84, 86, 89, 90, 91, 110, 147,
152, 153

T

tartaruga robô 106, 108

tecnologia 9, 10, 11, 12, 13, 20, 24, 51,
69, 70, 74, 79, 82, 84, 90, 91,
92, 93, 97, 106, 117, 118, 119,
121, 140, 147

tecnologias digitais 10, 12, 90, 108,
113, 121, 142

Tello 60, 61, 63, 89, 90, 100, 122, 123,
124, 125, 126, 127, 128, 130,
132, 136, 138, 151

trajetória 13, 106, 124

transposição didática 92, 139

trigonometria 132, 135, 137

Tul@rul 25, 37, 43, 44, 47, 50, 52, 53,
54, 55

U

UA 16, 18, 19, 21, 27, 30, 31, 32, 33,
34, 35, 37, 39, 41, 44, 47, 52,
53, 54, 55, 57, 64, 97, 99

UAS 16, 17

UAV 16, 57, 59, 92

ultrassom 50, 51

V

vetores 107, 126, 127, 129, 130, 131

VLOS 22, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

voo orbital 132, 133, 135, 136, 137

voo programado 98

VTOL 37, 39

W

Wi-Fi 48, 59, 60, 100

Wing 107, 109, 150

Y

Yepes 20, 68, 86, 88, 92, 93, 97, 101,
107, 110, 112, 113

Z

Zardo 84, 87, 107, 112

Zieger 12, 59, 68, 69, 70, 71, 92, 93,
95, 96, 97, 101, 102, 103, 118



Dando hélices à imaginação: o uso de drones como recurso pedagógico, é uma obra introdutória e, ao mesmo tempo, sistematizadora sobre o emprego de drones como dispositivos pedagógicos no contexto da Educação Básica. Estruturado em linguagem clara, porém rigorosa, o livro articula fundamentos técnicos — incluindo arquitetura, princípios físicos de voo, sistemas de controle e regulamentações aeronáuticas brasileiras — com discussões didáticas sobre o potencial formativo dessas tecnologias no ensino de Matemática, Física e áreas correlatas. Ao interpretar e traduzir normativas como RBAC-E, ICA e MCA para o campo educacional, a obra amplia o acesso a conhecimentos tradicionalmente restritos aos domínios da engenharia e da aviação. Os capítulos dedicados à escolha, operação e segurança, bem como os planos de aula, fundamentados em programação em blocos, evidenciam a possibilidade de integrar drones a práticas investigativas, ao desenvolvimento do pensamento computacional e à aprendizagem significativa. Assim, o livro contribui para a consolidação de uma cultura científica escolar alinhada às demandas contemporâneas da educação digital.