

DRONE VTOL DE PULVERIZAÇÃO FEITO DE PAPELÃO: UMA FORMA DE TORNAR DRONES AGRÍCOLAS MAIS ACESSÍVEIS

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Coordenadoria de Fomento à Pesquisa - Pró-Reitoria de Pesquisa e
Pós-Graduação

Letícia Gomes de Medeiros
Apoio: PIVIC Mackenzie

Dr. Antonio Newton Licciardi Junior

Escola de Engenharia - Engenharia Mecânica
Escola de Engenharia - Engenharia Elétrica

10418126@mackenzista.com.br
antonio.licciardi@mackenzie.br

RESUMO

Este projeto consiste em estudos para um protótipo de um drone VTOL pulverizador, tornando-o mais acessível para agricultores de pequeno e médio porte ou setor público. É possível baratear sua produção pelo uso de processos e materiais leves e recicláveis em sua construção. Diante disso, propõe-se um drone com 5 rotores *brushless*, sendo que quatro atuarão no voo vertical e 3 no voo horizontal, além de um sistema de dispersão do pulverizador. O estudo tem como objetivo, portanto, dar foco no processo de dimensionamento do protótipo, visando facilitar e tornar mais eficiente o trabalho dos agricultores brasileiros, agentes de uma área de extrema importância no país. Além disto, se viável sua produção em escala, ele pode ser um aliado no combate a doenças transmitidas por mosquitos, as arboviroses como a dengue, que podem ser evitadas através da pulverização. Para tanto, foram necessárias análises aerodinâmicas para determinar um modelo ideal para a proposta deste estudo.

Palavras-chave: Drone, VTOL, acessível, pulverização, agricultura.

ABSTRACT

This project is about researching for a spray VTOL drone prototype, making it more accessible to small and medium farmers or public service. It is possible to make its production cheaper by using light and recyclable processes and materials in its confection. This prototype consists of five 5 brushless rotors: four working in the vertical flight and three in the horizontal one. Besides, it has a spray dispersion system. The study, nonetheless, has as its main point sizing the prototype, to make easier and more efficient the work of Brazilian farmers, such an important sector to the country. Furthermore, if possible, its production on a large scale can be an ally against diseases transmitted by mosquitoes, such as dengue, which can be avoided through pulverization. For this purpose, it was needed several aerodynamic analyses to determine an ideal model for what this research is about.

Keywords: Drone, VTOL, accessible, pulverization, agriculture.

1. INTRODUÇÃO

As estimativas da ONU (Organização das Nações Unidas) continuam a prever o crescimento da população mundial no século XXI e o consequente aumento da demanda por alimentos. A população deve chegar a 8,5 bilhões de habitantes em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,4 bilhões em 2080 (ONU, 2022). Em tal aspecto, uma das vertentes em desenvolvimento no país, de acordo com o MAPA (Ministério da Agricultura e Pecuária), é o da AP (Agricultura de Precisão), sendo um sistema de gestão agrícola que considera a variabilidade espacial do campo, objetivando obter resultados sustentáveis, sociais, econômicos e ambientais positivos (DE OLIVEIRA, 2025).

Para tanto, uma das tecnologias disponíveis e em franca evolução para fazendeiros e agricultores são os drones, também chamadas de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados). Estes podem contribuir para a AP, seja através do monitoramento eficaz de lavouras e propriedades, seja na telemetria das fazendas e na contagem de rebanhos (ATRNP, 2023). Ademais, o uso de drones para pulverização é uma das maneiras de maximizar o cultivo, obtendo áreas de plantio mais eficientes, econômicas e com uso reduzido e dirigido de pesticidas agrícolas, com menor poluição ambiental (PEREIRA et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2020).

Cabe mencionar que já constam mais de cinco mil drones agrícolas cadastrados no SISANT (Sistema de Aeronaves Não Tripuladas), sendo quatro mil deles para uso exclusivo em pulverização (SISANT, 2024). Isso evidencia o uso deste aparato no país, retratando seu potencial em aplicação de pesticidas em áreas específicas nas plantações (PEREIRA et al., 2023). No entanto, drones ainda são produtos relativamente novos na agricultura brasileira, sendo financeiramente inacessíveis para o público agrícola de pequeno e médio porte em geral (GONÇALVES e CAVICHIOLI, 2021). Isso se deve ao fato de que a máxima receita bruta anual de um pequeno produtor rural seja igual a R\$500.000,00 (quinhentos mil reais), totalizando em torno de R\$40.000,00 (quarenta mil reais) por mês (MAPA, 2021). Em comparação a tais valores, um drone agrícola pulverizador pode custar de R\$50.000,00 a R\$ 300.000,00 (cinquenta mil a trezentos mil reais), podendo-se citar o Drone DJI AGRAS T50, um dos drones de pulverização mais avançados e mais utilizados, cuja apenas a estrutura base custa R\$104.000,00 (cento e quatro mil reais) (DJI, 2025). Por este motivo, percebe-se que

esses pequenos produtores têm muita dificuldade para investir em tecnologias como essa (RAMOS, 2024).

Ademais, o alto custo dos drones agrícolas deve-se ao fato de serem construídos com plásticos de engenharia (polietileno, ABS – Acrilonitrila butadieno estireno e/ou PETG - Politereftalato de etileno glicol) e revestidos com fibra de carbono, que apresentam um balanço de propriedades como plasticidade de moldagem, baixa densidade e resistência mecânica e ao calor elevadas (JIMÉNEZ-SARDA et al., 2025).

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

2. 1. REFERENCIAL TEÓRICO

Dentro deste cenário de pesquisa, justifica-se utilizar materiais alternativos de baixo custo de produção e boa resistência mecânica, a fim de tornar mais simples e econômica a produção de drones para AP. Pode-se citar o exemplo da empresa australiana SYPAC, que desenvolveu um drone militar feito de papelão, usado pela defesa ucraniana desde março de 2023 na guerra entre Ucrânia e Rússia (SBS, 2023). Devido a sua composição e simplicidade, o preço deste gira em torno de US\$3.500,00 FOB (aproximadamente dezenove mil reais, sem impostos no Brasil), além de pesar 5kg (cinco quilogramas) e ter uma velocidade máxima de 60km/h (sessenta quilômetros por hora). A figura 1 apresenta esse drone.

Figura 1: Drone australiano da empresa SYPAC, que serviu como ponto de partida para esse estudo.



Fonte: SBS, 2023.

No entanto, os agricultores de pequeno e médio porte e suas cooperativas correspondem a 66% do total de estabelecimentos rurais no Brasil, porém correspondem a apenas 3,3% da produção total (CAMPOS, 2022). É relevante, portanto, viabilizar ferramentas de baixo custo que propiciem a AP para tal público, permitindo melhoria na eficiência de produtividade. Reforça este aspecto o fato de, em 2020, o Brasil ter sido o 4º maior produtor e o 2º maior exportador de grãos mundial, além de o 3º maior produtor e o 2º maior exportador de carnes mundial (ARAGÃO e CONTINI, 2021). Dessa forma, é possível entender que são bem-vindas ferramentas e processos que mantenham o país nesta posição de vanguarda.

Ademais, drones agrícolas são dispositivos tecnológicos relevantes para viabilizar a AP, que visa ter melhores resultados agropecuários, ambientais, financeiros e sociais. Especificamente drones agrícolas pulverizadores são extremamente úteis e benéficos à agricultura, visto que melhoram a taxa de cobertura e a efetividade dos produtos químicos, além de tornar a pulverização mais rápida, fácil e econômica (RAMOS, 2024). Esses benefícios não se restringem apenas à AP, podendo ser uma ferramenta eficaz contra arboviroses.

Outro aspecto de importância no Brasil, atrelado ao problema de pesquisa evidenciado, são os recordes de casos de dengue, com mais de 1,58 milhões de casos prováveis neste ano (BRASIL, 2025). Um drone de baixo custo poderia ser uma ferramenta idônea para municípios e governos em pulverizações ao combate aos focos de mosquitos *Aedes Aegypti*, vetores da dengue e outras viroses, como *Chikungunya* e *Zika* (QUADROS e da Cunha, 2025).

Um VANT pulverizador, feito de papelão em asa fixa e de decolagem VTOL (*Vertical Take-off and Landing* – Decolagem e Aterrisagem Vertical, em português), poderia atender às necessidades financeiras e produtivas dos pequenos e médios produtores rurais e/ou suas cooperativas, além de poder ser usado para benefício da saúde pública, auxiliando no combate a doenças. A asa fixa justifica-se por um menor consumo operacional de energia de um drone, comparado ao de asa móvel (TEIXEIRA e OLIVEIRA, 2024). Além disso, com os materiais recicláveis, reutilizáveis e mais acessíveis, além de baratear a produção e, consequentemente, o preço de venda desses dispositivos, soluciona a questão supracitada dos materiais utilizados na confecção dos drones atuais, que são feitos de materiais mais resistentes, mais tecnológicos e específicos, o que eleva o preço do drone como um todo.

Para tanto, são necessários conceitos básicos de aerodinâmica, tais como o estudo das forças que agem em um VANT, a relação dos coeficientes de sustentação e de arrasto com o perfil de asa escolhido e o ângulo de ataque (SILVA, 2024). Para tanto, é necessário fazer-se uso de duas equações básicas da aerodinâmica, a de sustentação e a de arrasto, descritas como:

- Força de sustentação:

$$L = \frac{\rho v^2 S C_L}{2} \quad (2.1.1)$$

Em que L é a sustentação (N), ρ é a densidade do meio (kg/m^3), S é a área da asa (m^2), e C_L é o coeficiente de sustentação;

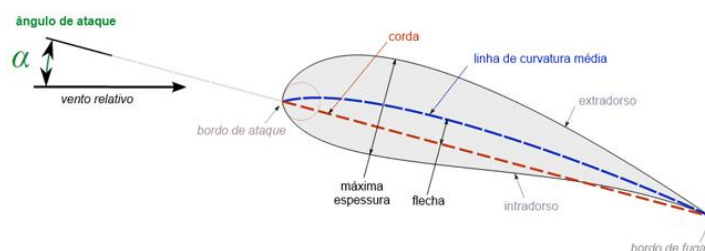
- Força de arrasto:

$$D = \frac{\rho v^2 S C_D}{2} \quad (2.1.2)$$

Em que D é o arrasto (N), ρ é a densidade do meio (kg/m^3), S é a área da asa (m^2), e C_D é o coeficiente de arrasto (ANDERSON, 2017).

Com essas análises é possível entender como o escoamento do ar gera uma zona de alta pressão sob as asas, fazendo com que o drone voe. O ângulo de ataque de uma aeronave pode ser definido como o ângulo formado pela corda que compõe a asa e a direção do seu movimento relativo ao ar, ou fluxo de ar. Assim, é necessário entender a relação entre o ângulo de ataque e o coeficiente de sustentação, sendo que ela permite obter o ângulo crítico que leva o drone a estolar, fazendo com que o equipamento perca sustentação e controlabilidade. A figura 2 apresenta um esquema representativo dessas componentes. O estol ocorre quando se gera um ângulo de ataque muito grande, extrapolando o ângulo crítico de ataque. De modo simples, ao aumentar-se o ângulo de ataque, ocorre o consequente aumento da sustentação e do arrasto induzido, de modo que ao extrapolar-se o ângulo crítico, quando ocorre a máxima sustentação, o fluxo do ar descola-se da superfície superior da asa, resultando na perda de sustentação, mais conhecida como estol (BGAST, 2020). Outro ponto que se deve atentar é o posicionamento do centro de gravidade do drone, sendo que ele determina a estabilidade do aparelho como um todo (LUCENA e Gonçalves, 2020). O interessante é que o centro de gravidade esteja dentro dos limites da asa do avião.

Figura 2: Representação esquemática de um perfil de asa e suas componentes.



Fonte: Cobel, 2013.

Além disso, é recomendado realizar algumas análises de fluidodinâmica computacionais (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) e testes em túnel de vento para verificar como é possível reduzir o arrasto gerado em um drone VTOL, devido à distribuição das forças aerodinâmicas ao longo da asa fixa, por exemplo, sendo que dois principais fatores que afetam sua aerodinâmica são a forma e dimensões do sistema VTOL (BUSTAMANTE ALARCON et al., 2025). Posto isto, algumas ferramentas que auxiliam nas análises aerodinâmicas e nas projeções do drone são: XFLR-5 para análise da asa, e dos coeficientes de sustentação e de

arrasto; Ansys Fluent® para as análises CFD; Solidworks® para o projeto de CAD 3D do drone propriamente dito (MHASKE et al., 2023; MISRA et al., 2022).

Em relação aos rotores VTOL, eles podem ser posicionados conforme a configuração de um drone quadricóptero, proporcionando equilíbrio e sustentação adequados durante a decolagem e aterrissagem verticais (PANISH e BACIC, 2025). Para os rotores do quadricóptero, recomenda-se o uso de motores *brushless*, pois são mais econômicos, mais potentes e menores que outros tipos de motores elétricos (como os com escovas, por exemplo) ou de combustão. Além disto, para o acionamento destes, a partir de uma bateria elétrica, também se faz uso de ESCs (*Electronic Speed Controller* – Controlador Eletrônico de Velocidade, em português), que controlam a voltagem e a corrente dos motores e, conseqüentemente, controlam sua velocidade de rotação (UWIMANIMPAYE et al., 2023).

O desenvolvimento de drones VTOL para aplicações como pulverização agrícola exige a integração de um controlador de voo robusto, responsável pela execução do firmware ArduPilot (ARDUPILOT, 2025), e de um sistema de rádio de longo alcance para comando humano. O controlador de voo é o componente central, onde o ArduPilot processa dados de sensores e gera comandos para motores, servos controle de sistemas auxiliares, como bombas de pulverização. Exemplificando, modelos como o Pixhawk 4 apresentam bom custo-benefício no exterior, custando entre US\$ 142 e US\$ 210 (cerca de R\$ 700 a R\$ 1.000 – setecentos a mil reais) em fornecedores como Holybro (HOLYBRO, 2025). Atuando com o controlador, é necessário um rádio transmissor (TX) com receptor (RX) dedicado, garantindo alcance mínimo esperado em torno de 2 a 3km (dois a três quilômetros), adequado ao contexto de AP. Exemplo, também acessível ao protótipo é o Radiomaster TX16S Mark II (RADIOMASTER, 2025). O receptor correspondente, como os modelos ELRS de 915 MHz (novecentos e quinze mega hertz), que asseguram a comunicação entre piloto e aeronave. Com esses equipamentos, é possível atender às necessidades de controle e confiabilidade exigidas para operações de pulverização em campo. Hoje, graças ao desenvolvimento e aprimoramento em domínio público do sistema ArduPilot (ARDUPILOT, 2025), o número de canais, bem como o número de operações manuais que um operador necessitaria, para, por exemplo, efetuar a transição do modo de voo VTOL, para o modo planado (sustentado pelas asas) é reduzido. Além de causar a redução do número de canais necessários, este software também resulta no barateamento do rádio controle.

O rádio transmissor e receptor é responsável por enviar e receber sinais entre o drone em voo e sua base (em que se situa o operador). O transmissor se assemelha a um controle remoto de vídeo game, sendo controlado pelo piloto ao manipular os *sticks* e botões. Uma vez realizado algum comando no transmissor, este passará ao receptor do drone por meio de canais (RAHMAN et al., 2025). Para um rádio receptor padrão de voo, a quantidade mínima de canais recomendada é quatro: um para o controle de potência do motor, outro para o controle do profundor, outro para o leme e um para os ailerons nas asas (de modo que ao incrementar ao drone algumas outras funcionalidades, como um pulverizador e decolagem VTOL, serão necessários mais canais) (RAHMAN et al., 2025; PEREIRA et al., 2023). Este sistema rádio transmissor e receptor funciona em uma determinada frequência e banda, sendo que as frequências padrões disponíveis são de 2,4GHz (dois vírgula quatro giga hertz), mas também pode-se usar a de 5,8GHz (cinco vírgula oito giga hertz) (UWIMANIMPAYE et al., 2023). Estes rádios e receptores são em geral padronizados no mercado e permitem o alcance típico de 2 a 5 km (três a cinco quilômetros) de distância entre o operador (do rádio) e o drone.

2. 2. METODOLOGIA

A metodologia dessa pesquisa está dividida nas seguintes etapas:

Estudo e delimitação dos aspectos aerodinâmicos e de esforços estruturais que envolvem o projeto de um drone de asa fixa com decolagem VTOL.

Nesta etapa foram realizados os estudos preliminares necessários de aerodinâmica e fluidodinâmica para caracterização e simulações do corpo do drone. Como perfil de asa, foram testados três modelos: NACA 2412, NACA 4412 e Clark Y, todos testados com corda de 15cm (quinze centímetros) e 30cm (trinta centímetros). Após as simulações, feitas com o software Ansys CFX®, licença estudantil disponibilizada pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), conclui-se que um perfil NACA 2412 modificado atende melhor às necessidades do projeto, apresentando melhor distribuição das forças aerodinâmicas ao longo do perfil, com uma alta sustentação gerada e um bom ângulo de estol. Este perfil pode ser verificado na figura 3.

Estudo de materiais e reforços estruturais.

Nessa etapa, serão feitas as eventuais compras e coletas dos materiais necessários para a efetiva construção do protótipo, aproveitando o máximo de material possível disponibilizado pela Escola de Engenharia da UPM. Em seguida, serão efetuados o dimensionamento e testes do sistema VTOL do protótipo do drone, baseados nos motores *brushless*, com hélices prototipadas em impressora 3D e depois lixadas e balanceadas em oficina mecânica da Escola de Engenharia. A montagem do sistema completo será realizada (com os ESCs, bateria LiPo e circuitaria eletrônica adicional) para verificar a eficiência da capacidade de decolagem e aterrissagem do drone. Eventuais medições e ajustes experimentais podem ser realizados, de modo a viabilizar o voo sustentável horizontal do drone, com autonomia mínima de 10min (dez minutos) e carga útil de 1kg (um quilograma), conforme os cálculos estimativos. Os ensaios necessários serão realizados para confirmação das forças aerodinâmicas esperadas e velocidades relativas baixas (até 50km/h – cinquenta quilômetros por hora).

Construção, integração e testes.

Nesta etapa, será construída e/ou concluída a estrutura do drone, com a integração do sistema VTOL, sistema eletrônico e de atuadores e sistema pulverizador. Também será realizada a integração do rádio controle e receptor no drone. Em relação ao sistema de rádio controle e hardware, é válido comentar que ele só poderá ser instalado, testado e refinado ao longo do desenvolvimento prático do protótipo, o que se pretende no projeto de iniciação tecnológica que dará seguimento a este trabalho na UPM. Pretende-se realizar a implementação do protótipo fazendo uso das oficinas mecânicas e laboratórios da elétrica da Escola de Engenharia. O modelo completo, depois de testes em repouso para verificação dos sistemas, será levado e testado em voo, inicialmente na quadra aberta da UPM em um sábado (sem circulação de pessoas), respeitando o princípio de sombras da norma ICA 100-40 da FAB (DECEA, 2023). Ajustes experimentais finais podem ser necessários e as medições serão realizadas, para comparação com cálculos realizados. Dessa forma, será possível estimar o custo exato de produção do protótipo e verificar se ele atende à proposta desse projeto.

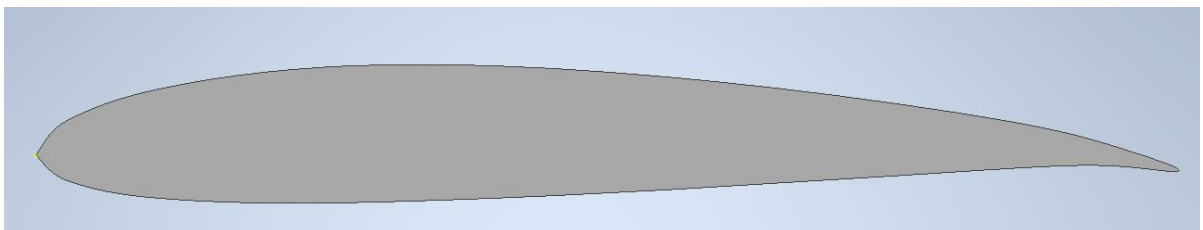
3. CONCLUSÃO

3. 1. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao considerar que drones quadricópteros apresentam uma boa estabilidade, mas não conseguem percorrer distâncias muito longas, e asas fixas conseguem percorrer distâncias maiores, mas necessitam de auxílio para decolagem e aterrissagem (serem lançados ou uma pista), realizar uma fusão dos dois tipos é uma boa alternativa. Uma opção dessa combinação é o drone VTOL com multi-rotores elétricos (LUCENA et al., 2022). O funcionamento desse drone acontece da seguinte forma: a decolagem é por meio dos rotores elétricos e, quando o drone atinge uma altitude considerável, ocorre a transição dos tipos de voo, em que os motores elétricos passam a atuar para o voo horizontal; já para a aterrissagem, os motores elétricos voltam a atuar para o voo vertical.

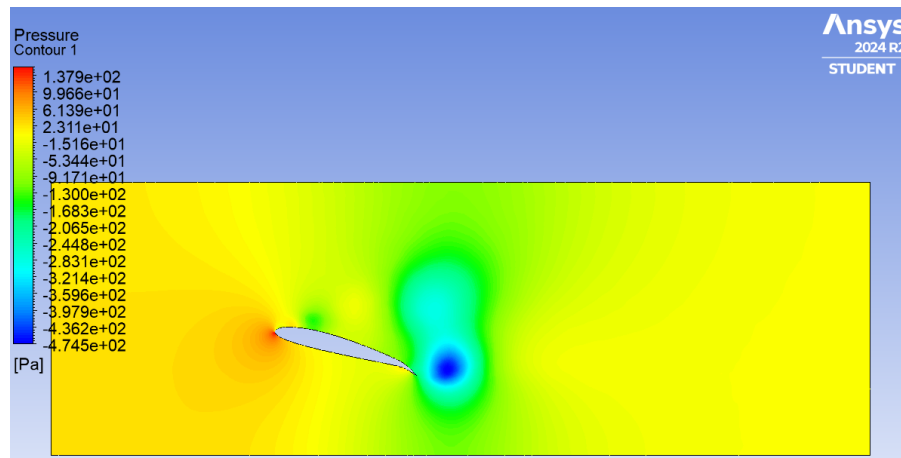
Para tanto, foram feitos estudos das forças aerodinâmicas em um perfil de asa NACA 2412 modificado. A figura 3 apresenta esse perfil. Dessa forma, ao realizar as simulações de CFD nesse perfil de asa, por meio do software Ansys CFX®, foi possível determinar o ângulo de estol, ângulo importante para um drone VTOL, além de determinar as forças atuantes na asa, como é possível verificar na figura 4 e na tabela 1. Essas simulações foram feitas com a velocidade do vento a 15m/s (quinze metros por segundo) e considerando uma espessura de 10mm (dez milímetros).

Figura 3: Perfil de asa NACA 2412 modificado.



Fonte: Autoria própria

Figura 4: Perfil de asa NACA 2412 em simulação CFD no software Ansys® em um ângulo de 15° (ângulo de estol – determinado através da simulação).



Fonte: Autoria própria

Assim, é possível fazer um dimensionamento do drone e escolher os materiais para a estrutura. Primeiramente, foi escolhido um interessante modelo de drone VTOL como inspiração, além de os materiais escolhidos serem *foamboard* para a fuselagem e madeira balsa para reforços estruturais, e considerar um tanque de pulverização de 1L (um litro). Desta forma, é possível estimar o peso, que se encontra na tabela 1. É possível verificar o modelo base usado para os cálculos na figura 5, sendo que este possui uma envergadura de 800mm (oitocentos milímetros), e o usado nos cálculos possui 1000mm (mil milímetros), além de uma quantidade e uma disposição de rotores diferentes, pois foram usados 5 rotores *brushless*, um que ficará fixo para o voo horizontal, dois que serão fixos para o voo vertical e os dois restantes serão móveis, na parte frontal das asas, como apresentado na figura 5, servindo tanto para o voo vertical quanto horizontal. Após determinar a quantidade de rotores, ter as forças aerodinâmicas atuantes e uma base de peso, foi possível dimensionar a bateria que melhor atenderá as condições do drone, sendo uma LiPo 2200mAh (dois mil e duzentos miliampere-hora) 11,1V (onze vírgula um volts), que pesa 190g (cento e noventa gramas).

Figura 5: Drone VTOL usado como inspiração – modelo Jumper Xiake 800.



Fonte: AliExpress, 2025

Tabela 1: Dados obtidos por simulações e cálculos estimados.

Sustentação – ângulo de ataque 0° (N)	32,900
Arrasto – ângulo de ataque 0° (N)	0,881
Peso morto (apenas estrutural) (kg)	0,280
Peso total (tanque cheio + bateria) (kg)	1,470

Além disso, através das equações listadas abaixo, foi possível simular diversos cenários para determinar a força de arrasto e a potência dos motores. Os resultados obtidos podem ser verificados na tabela 2.

- Força de arrasto, definida anteriormente (2.1.2), em que a densidade do ar foi adotada igual a $1,225 \text{ kg/m}^3$ e o coeficiente de arrasto adotado igual a 0,04.
- Potência requerida:

$$P_{req} = Dv \quad (3.1.2)$$

- Potência do motor:

$$P_{motor} = \frac{P_{req}}{\eta_{motor}\eta_{hélice}} \quad (3.2.2)$$

Em que η_{motor} é a eficiência do motor, e $\eta_{hélice}$ é a da hélice. Para os cálculos foi adotada uma eficiência de hélice de 70% e de motor de 80%.

Vale ressaltar que a envergadura usada em todos os cálculos da área da asa foi de 1m (um metro).

Tabela 2: Força de arrasto e potências requerida e do motor de acordo com os cenários.

Cenário	D (N)	P_{req} (W)	P_{motor} (W)
corda = 0,3m, v = 15m/s e S = 0,3m ²	1,65375	24,80625	44,29687
corda = 0,5m, v = 15m/s e S = 0,5m ²	2,75625	41,34375	73,82812
corda = 0,2m, v = 15m/s e S = 0,2m ²	1,10250	16,53750	29,53125
corda = 0,25m, v = 15m/s e S = 0,25m ²	1,37812	20,67187	36,91406
corda = 0,3m, v = 10m/s e S = 0,3m ²	0,73500	7,35000	13,12500
corda = 0,25m, v = 10m/s e S = 0,25m ²	0,61250	6,12500	10,93750

Com base nessas estimativas, nota-se que os dois últimos cenários apresentam os menores resultados (que, consequentemente, são melhores). Assim, uma corda de 30cm (trinta centímetros) é mais fácil de se construir e melhor para a distribuição das forças e pressões aerodinâmicas, tornando, assim, o penúltimo cenário o mais recomendado. Tal consideração traz suporte a especificação necessária para a viabilidade construtiva do modelo.

Por fim, vale ressaltar que esse estudo serviu de inspiração para uma Iniciação Tecnológica, que terá início no segundo semestre de 2025. Ou seja, já foram feitos os estudos aerodinâmicos envolvidos para o desenvolvimento do protótipo, analisando as forças atuantes no perfil de asa escolhido, como é possível verificar através das simulações de CFD

supracitadas. Além disso, essas análises auxiliaram na escolha da fuselagem e dos materiais estruturais, como explicitado nessa seção.

3. 2. AGRADECIMENTOS

Presta-se os agradecimentos aos professores Dr. Fábio Raia e Dr. Edvaldo Angelo, que auxiliaram com os estudos aerodinâmicos do projeto, e aos professores Dr. Gabriel Angelo e Dr. Filipe Fabian Buscariolo, que auxiliaram nas simulações de CFD. Além disso, presta-se os agradecimentos à UPM, possibilitou essa oportunidade de estudo e disponibilizou seus laboratórios e softwares para essa pesquisa.

4. REFERÊNCIAS

ALIEXPRESS. **Jumper Xiake800 VTOL 800mm FPV Plane BNF RTF ELRS de longo alcance (sem versão em caixa de espuma)**. 2025. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005005236379620.html>. Acesso em: 16 ago. 2025.

ANDERSON, J. D. **Fundamentals of Aerodynamics**. 6 ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017.

ARAGÃO, A.; CONTINI, E. **O Agro no Brasil e no mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020**. 2021. Disponível em: <https://encurtador.com.br/Cv5sA>. Acesso em: 8 fev. 2024.

ARDUPILOT. **ArduPilot Open Source Autopilot**. 2025. Disponível em: <https://ardupilot.org/>. Acesso em: 18 ago. 2025.

ATRNP. **Como o drone pode ser usado na agricultura?** 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/p4pFO>. Acesso em: 8 fev. 2024.

BGAST. **Sistema de ângulo de ataque (AoA)**. 2020. Disponível em: <https://encurtador.com.br/M5MLs>. Acesso em: 7 abr. 2024.

BRASIL. **Painel de Monitoramento das Arboviroses**. 2025. Disponível em: <https://encurtador.com.br/uXSk3>. Acesso em: 9 ago. 2025.

BUSTAMANTE ALARCON, Juan Manuel; et al. Analysis of the propulsion and aerodynamics of a hybrid vertical take-off and landing unmanned aerial vehicles with distributed electric propulsion and ducted-fans. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, 2025.

CAMPOS, S. K. **Concentração da produção e da renda no agro brasileiro**. 2022. Disponível em: <https://encurtador.com.br/2ceyD>. Acesso em: 9 mar. 2024.

COBEL, Rentato. **Teorias rotativas 02**. Canal Piloto, 2013. Disponível em: <https://canalpiloto.com.br/teorias-rotativas-02/>. Acesso em: 18 ago. 2025.

DECEA. **AERONAVES NÃO TRIPULADAS E O ACESSO AO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO**. 2023. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40>. Acesso em: 16 ago. 2025.

DE OLIVEIRA, Felipe Salis; et al. Tecnologia de drones voltada para pulverização agrícola. **Scientific Electronic Archives**, v. 18, n. 1, 2025.

DJI. **DJI AGRAS T50**. 2025. Disponível em: <https://ag.dji.com/pt-br/t50>. Acesso em: 16 ago. 2025.

GONÇALVES, V. P.; CAVICHIOLI, F. A. Estudo das funcionalidades dos drones na agricultura. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 321-331, 2021.

HOLYBRO. **Pixhawk 4 – Autopilot Kit**. Holybro, 2025. Disponível em: <https://holybro.com/products/pixhawk-4>. Acesso em: 18 ago. 2025.

JIMÉNEZ-SARDA, Julio; SILVA, Daniel F.; SMITH, Alice E. Drone-enabled material handling in smart manufacturing. **International Transactions in Operational Research**, 2025.

LUCENA, A. N.; GONÇALVES, L. M. Onboard instability correction of a flying wing unmanned aerial vehicle. **Latin American Robotics Symposium (LARS)**, 2020 p. 1–6.

LUCENA, A. N. D.; SILVA, B. M. F. D.; GONÇALVES, L. M. G. Double hybrid tailsitter unmanned aerial vehicle with vertical takeoff and landing. **IEEE Access**, v. 10, p. 32938–32953, 2022.

MAPA. **CMN aprova elevação dos limites da receita anual para efeito da classificação do produtor rural**. 2021. Disponível em: <https://11nk.dev/ml2NQ>. Acesso em: 9 mar. 2024.

MHASKE, K. R. et al. Development of fixed wing VTOL UAV. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, 2023.

MISRA, A.; JAYACHANDRAN, S.; KENCHE, S.; et al. **A review on vertical take-off and landing (VTOL) tilt-rotor and tilt wing unmanned aerial vehicles (UAVs)**. Hindawi, 2022.

OLIVEIRA, A. J. de; SILVA, G. F. da; SILVA, G. R. da; et al. Drones potentiality use in precision agriculture. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64140–64149, 2020.

ONU. População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022 as Nações Unidas no Brasil. 2022. Disponível em: <https://sl1nk.com/Ba7gX>. Acesso em: 23 mar. 2024.

PANISH, Leo; BACIC, Marko. Tiltwing eVTOL Transition Trajectory Optimization. **Journal of Aircraft**, v. 62, n. 1, p. 81-93, 2025.

PEREIRA, D. C.; FERNANDES, L. F. S.; FERNANDES, D. As vantagens da utilização de drones no agronegócio e na agricultura de precisão. **Revista Alomorfia**, v. 7, n. 2, p. 705-716, 2023.

QUADROS, Andrey Alencar; DA CUNHA, Murilo Fuza. REDE NEURAL PARA DETECÇÃO DE PNEUS COM YOLOV8: UMA FERRAMENTA PARA O COMBATE À DENGUE. **REVISTA FOCO**, v. 18, n. 4, p. e8179-e8179, 2025.

RADIOMASTER. **TX16S Mark II Radio Controller**. Radiomaster, 2025. Disponível em: <https://radiomasterrc.com/products/tx16s-mark-ii-radio-controller>. Acesso em: 18 ago. 2025.

RAHMAN, Md Habibur; et al. Cascaded learning empowered classification of UAVs using radio frequency under wireless interference. **Alexandria Engineering Journal**, v. 121, p. 201-212, 2025.

RAMOS, V. **Drones Agrícolas: Os 11 Melhores para Agricultura e Agronegócio**. 2024. Disponível em: <https://mestredosdrones.com.br/drones-agricolas/>. Acesso em: 29 abr. 2024.

SBS. **Like a child's project, with profound impact: How cardboard drones can shape Ukraine war**. SBS News, 2023. Disponível em: <https://sl1nk.com/fHKRy>. Acesso em: 16 ago. 2025.

SILVA, R. **Aerodinâmica básica**. Federação Portuguesa de Aeromodelismo, 2024.

SISANT. **Sistema de Aeronaves Não Tripuladas**. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/sistemas/sisant/novo-sisant>. Acesso em: 22 mar. 2024.

TEIXEIRA, J. P. dos S.; OLIVEIRA, W. J. S. de. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE AERONAVE DE VOO VERTICAL**. TCC em engenharia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2024.

UWIMANIMPAYE, V.; MPUHWEZAMARIYA, L.; NIYONKURU, J. F. **Design and Implementation of Remote Controlled Fixed Wings Unmanned Aerial Vehicle**, 2023.