



## Estudo de Caso para Missão de Pulverização de 20 kg de defensivos agrícolas

### Sistemas aeroespaciais

Por: *André Moreira Tostes Radusewski* 180116231  
*Fernando Murussi* 180016482  
*Gabriel Barbosa* 180101056  
*Pedro H. Braga* 180036637  
*Rodrigo Evangelista* 180130366

### I Introdução

Em sala de aula, foi proposto quatro diferentes configurações de aviões, cada qual com características específicas. Foi também introduzido diversas missões, a qual, a missão ***Pulverização de 20kg de defensivos agrícolas*** foi a escolhida pelo grupo.

Neste processo, tornou-se necessário analisar as diferentes configurações propostas e definir qual seria a melhor para os interesses da missão estudada. O artigo foi dividido em cinco etapas principais as quais cada direcionamento da espiral de projeto foi tal que abrangesse as necessidades do projeto conceitual e preliminar visando o escopo da disciplina de terceiro semestre na qual os integrantes do grupo se apresentam, culminando na criação conceitual do Vant elétrico V/stol - *Língua de Boi*, o qual será descrito no decorrer deste artigo.

O primeiro tópico se baseia numa análise sobre a missão assimilada ao grupo, as configurações apresentadas, a empregabilidade da configuração escolhida, análise vistoriada por experts na área da missão e um comparativo analisando as vantagens e desvantagens dentre as configurações apresentadas.

Para uma melhor compreensão das reais necessidades e barreiras que a missão naturalmente carrega, viu-se necessário e congruente a aproximação das questões aeroespaciais com as questões relativas a ciência que permeia a missão, a agronomia. Para tal feito, o grupo entrou em contato com Docentes da área no campus Darcy Ribeiro e foram realizados dois encontros de cunho informal, porém, carregados de escopo.

Em reunião com os professores *Tiago Pereira da Silva Correia Ph.D - Mecanização Agrícola*, e *João José da Silva Júnior, Dr - Recursos hídricos em sistemas agrícolas*; foi obtido de maneira



informal importantes informações relacionadas às reais circunstâncias que permeiam a utilização de máquinas agrícolas, mas especificamente, Drones com a capacidade de pulverizar lavouras.

Foi passado para os integrantes do grupo os contextos reais da utilização de drones para a agricultura em solo brasileiro como, por exemplo, as restrições na fabricação de materiais em solo nacional assim como os paradigmas enfrentados com essa nova tecnologia. Com as informações obtidas com os Docentes previamente citados o direcionamento do projeto convergiu para uma análise voltada as necessidades do mercado agrônômico e a crescente busca por tecnologias que auxiliem o maquinário pesado e diminuam o trabalho manual.

Após as considerações de cunho intelectual e econômico propostas na primeira etapa do projeto o grupo efetuou levantamentos iniciais quanto a Vants que realizam missões semelhantes no mercado e as limitações dessas mesmas aeronaves na missão de pulverização de 20 kg de defensivos agrícolas.

A Terceira etapa do projeto baseou-se em definir a configuração mais fiel em relação as análises dos docentes da área agrônômica, as necessidades do mercado, suas prospecções futuras e levantamentos dos concorrentes de mercado, também focou-se em cálculos analíticos aerodinâmicos, estruturais, e de desempenho do Vant *Língua de Boi*, no que tange a carga teórica de estudantes do terceiro semestre. Tais cálculos se tornaram possíveis uma vez escolhida a configuração e determinada a carga máxima, a distribuição de pesos e o controle do veículo não tripulado, também foi feito croquis seguindo normas de desenho técnico ABNT no software Catia V5R21 no qual criou-se o conceito do Vant língua de boi abordando todas suas dimensões, componentes internos principais e, o maior desafio, um tanque que comportasse 20 kg de defensivos agrícolas e que coubesse dentro da fuselagem.

Uma vez visto os desafios da terceira etapa e definidos os componentes principais do Vant foi feita descrição sobre como prosseguir com a construção e desenvolvimentos a serem realizados para a produção do produto em questão. Também foi estimado um custo de produção levando em consideração a compra dos materiais, impostos, transporte, e mão de obra.

Por último, foi feito uma breve estimativa dos custos operacionais da aeronave em operação levando em conta as necessidades do Vant no que tange manutenção, células energéticas, transporte, impostos, custo do Vant, rendimento, área/vant/ano, custo mensal salários e encargos, depreciação e seguros, culminando num preço total por hora, o qual foi comparado com o preço por hora de aviões pulverizantes.

## I.1 Missão

As informações aqui expostas foram coletadas via reuniões com os professores *Tiago Pereira da Silva Correia Ph.D - Mecanização Agrícola*, e *João José da Silva Júnior, Dr - Recursos hídricos em sistemas agrícolas*. A atuação deles no que concerne o alinhamento do projeto com os ideais buscados para um Vant funcional, ergonômico e útil foram de vital importância para o direcionamento do projeto. E abaixo serão expostos dados que sem o encontro com tais docentes não seriam possíveis de serem coletados.

O uso de pesticidas na agricultura provém de tempos bastante remotos, na verdade, o uso de substâncias com capacidade inseticida provém de conhecimentos advindos da tentativa e erro, daí tem-se o enxofre:

“O enxofre, era usado por padres pagãos 2.000 anos antes do nascimento de Cristo...usos de enxofre foram relatados por Homero na Odisseia em 1000 B.C. Hoje, mais de 50 produtos de enxofre estão registrados para uso como pesticidas somente na Flórida. O enxofre é usado principalmente no controle de ácaros e doenças em uma ampla variedade de culturas e sites.” (Fischel. Frederick; University of Florida Ifas extension).

Atualmente os pesticidas são implementados na lavoura através de trabalhadores rurais, tratores e aviões especialmente modificados para tal fim. A necessidade do uso de pesticidas se dá quando é observada a ação danosa de uma praga na lavoura, para tal, torna-se necessário o uso desses insumos para a correção da praga.

A pulverização de defensivos agrícolas trás com si algumas questões ambientais a serem observadas logo é preciso definir o problema mais proeminente enfrentado pelos métodos de pulverização antes de definir os métodos em si.

A deriva pode ser definida como endógena (a parte do produto que não é retida pela planta e vai para o solo) e exógena (volume levado pelo vento para fora da área de pulverização).

“Existe um conjunto de 20 itens que define o risco de deriva em uma aplicação, incluindo a técnica de pulverização, o tipo de produto, o tamanho da gota e os adjuvantes” (agrônomo Ulisses Antunias, da Unesp)

Existem dois modelos utilizados atualmente pelos agropecuários no Brasil, o mais utilizado e antigo é o modelo de Área total que em sua essência se baseia em tratar os problemas pontuais da lavoura como um todo, gerando assim aspectos positivos e negativos. No que tange o uso dos defensivos agrícolas por se tratar de um processo no qual a lavoura inteira é pulverizada sem levar em consideração áreas focais, onde há a necessidade de maior atenção e controle de pragas, o modelo de área total acaba por generalizar muitos dos processos envolvidos na solução da praga e cura da planta, gerando maior gasto de defensivos agrícolas, de combustível utilizado pelas máquinas, danos ambientais e um controle menos específico sobre cada parte da lavoura. No entanto, as tecnologias envolvidas na pulverização de área total almejam todo o terreno em poucas dispersões.

O modelo de precisão é um processo que vem sendo implementado aos poucos no mercado agrônomo brasileiro, todavia, vem se tornando cada vez mais visado devido às suas



características únicas no que tange o comando, controle -C2, e produtividade das lavouras. Por se tratar de um modelo no qual a maior ênfase gira em torno de ações focais/precisas e controladas em tempo real, o modelo requer maior empenho do agricultor com sua lavoura, alto nível tecnológico e consequentemente alto custo. Todavia, suas recompensas vêm agradando o olhar de vários agropecuaristas e o modelo é visado como o alicerce fundamental da agronomia do futuro.

Na aplicação de área total são utilizados veículos de grande porte tais como tratores e aviões específicos, como o avião Ipanema da Embraer.

No caso dos tratores, a aplicação necessita ser efetuada em toda a lavoura (área total), visto que, por se tratar de um equipamento de grande porte, caso a locomoção fosse feita somente para as áreas afetadas ocorreria o amassamento dos plantios no caminho, também é evidente que devido a dispersão em área total, é preciso ter pesticida suficiente para cobrir o terreno. Também é preciso cuidado quanto aos fatores meteorológicos locais, visto que a presença de ventos fortes e/ou chuva tornam o trabalho inviável devido a questões de logística e ambientais relacionadas à deriva.

Os aviões agrícolas seguem alguns padrões de pilotagem devido às condições a que são expostos, necessitando de um maior cuidado do piloto devido ao voo de baixa altitude. É preciso também ressaltar que o céu deve estar aberto e o clima com a menor quantidade de ventos possíveis. Além disto, para um avião agrícola decolar é necessária uma pista, na qual o tamanho varia de avião para avião. Torna-se preciso também o contrato com algum piloto especializado na área. Devido a grande locomoção de recursos e a questão situacional trazida pela necessidade de condições meteorológicas favoráveis, os aviões agrícolas também seguem o modelo de pulverização de área total.

No caso dos trabalhadores rurais a aplicação dos pesticidas é feita manualmente, o que causa de forma inerente problemas relacionados à exposição aos defensivos agrícolas devido aos mais diversos fatores, como precários equipamentos de proteção, métodos de aplicação e qualificação profissional.

É notável que em ambos os casos relacionados às máquinas agrícolas aqui expostos ocorrem algumas restrições ao seu uso, tais como o amassamento no caso dos tratores, e a grande logística necessária para a implementação do avião. Também existem os limitantes meteorológicos, presentes em todos os tipos de aplicação.

Os Vants elétricos possuem uma capacidade de carga reduzida se comparados com os tratores e aviões, por causa disto o tipo de aplicação buscada pelo implemento de Vants na agricultura é voltada somente as áreas contaminadas. Devido à baixa capacidade de carga, pulverização de 20 kg de defensivos agrícolas, se comparada com as grandes máquinas, a tendência da análise do Vant proposto segue a ideologia do método de precisão. Disto surge a nomenclatura para tal aplicação: ***Pulverização de precisão.***



*“O uso crescente de drones na aplicação de pesticidas atende a um anseio de empresas, produtores rurais e pesquisadores por novas tecnologias que tornem a atividade mais eficiente e precisa, reduzindo a perda de produto e diminuindo a deriva” (Ricardo Inamasu, pesquisador da Embrapa Instrumentação)*

Diferentemente da pulverização de área total, os Vants, devido a sua capacidade de carga, precisam efetuar a aplicação do defensivo agrícola no local onde o problema se encontra. Visto isso, surgem paradigmas quanto a funcionalidade, aplicabilidade e efetividade do método de aplicação por Vants.

Como filosofia de projeto dos integrantes do grupo atentar-se aos paradigmas encontrados no mercado de Vants de pulverização e trazer propostas inovadoras que por sua vez atinjam um padrão de funcionalidade, aplicabilidade e efetividade torna-se essencial para um projeto bem estruturado e que atinjam o mercado

A missão do Vant língua de Boi permeia o contexto atual do mercado de pulverização de defensivos agrícolas. Uma análise detalhada de como pulverizar de maneira adequada a carga útil da aeronave foi feita pelo grupo e disto foi feita a decisão de alinhar o conceito do vant ao de pulverização de precisão. Dessa forma, o Vant poderá abranger os novos nichos de mercado deste novo tipo de pulverização e obter um maior desempenho ambiental econômico visando o menor desperdício e maior controle em cada aplicação.

## I.2 Configurações apresentadas

É de interesse do grupo alinhar a escolha da configuração com as necessidades da área agrônômica tornando assim, a melhor possível quanto às necessidades de quem trabalha na área, respeitando o contexto proposto em sala de aula.

Foi dado ao grupo a oportunidade de escolha entre quatro configurações: Flying Pancake, Asa Portante (Burnelli), V-STOL, Pogo.



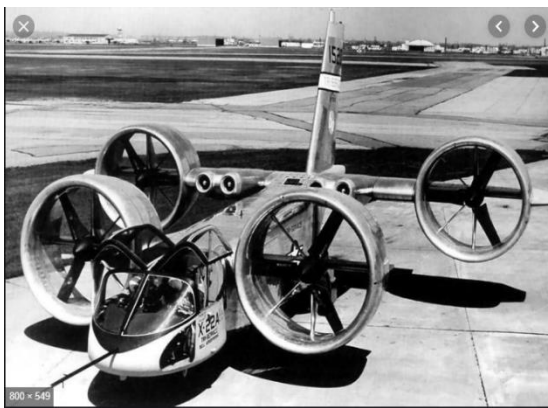


Figura 1: V/stol Bell X-22



Figura 2: XFY-1 Pogo



Figura 3: Asa Portante -Burnelli CBY-3



Figura 4: VOUGHT V-173 (Flying pancake)

Sobre as diferentes configurações propostas, foi feita análise sobre a história, dimensionamentos, seus empregos iniciais e a razão da descontinuidade do desenvolvimento do projeto e em alguns casos, projetos anteriores. As configurações serão analisadas na ordem de trás para frente indo da figura 4 à primeira.

Vought V-173 - Idealizado e projetado por Charles H. Zimmerman, tinha como objetivo criar uma aeronave que fosse capaz de decolar e pousar em baixas velocidades. O projeto consistia em um avião com um formato de “asa circular” com perfil de asa simétrico, 7,1m de diâmetro (envergadura) e 8,1m de comprimento. Movido a dois motores continentais A-80 de 80hp (81 cv), um em cada ponta de asa, que moviam três pás cada de 4m. O piloto ficava em uma cabine no centro e a frente da aeronave, a qual tinha um trem de pouso fixo em baixo que dava um ângulo de 22° que possibilitava o tamanho da hélice. ( <https://airandspace.si.edu/collection-objects/vought-v-173-flying-pancake>)

Devido aos motores ficarem nas pontas da asa, as hélices diminuía o efeito de vórtice na ponta da asa que configurações mais tradicionais apresentam, além de apresentar distribuição de camada limite mais suave ao longo da superfície. Somando esses efeitos, esperava-se ter baixas velocidades de decolagem e pouso e um ótimo desempenho em altas velocidades.



O V-173 tinha uma massa de aproximadamente 1250 kg e uma área de asa de quase 45m<sup>2</sup>, rendendo-lhe uma carga alar de apenas 28 kg/m<sup>2</sup> (baixa) o que possibilita as baixas velocidades antes citadas. A menor interferência do efeito de vórtice de ponta de asa diminui bastante o arrasto induzido, aumentando a sustentação e, portanto, diminuindo tanto a energia como o espaço para decolagem.

Além disso, o Flying Pancake também apresentava outra vantagem não inicialmente prevista. O fato de ter hélices muito grandes em relação ao tamanho da aeronave tornava obrigatório uma angulação entre a nave e o solo para que as pás não o tocassem. Isso aliado a já tida sustentação elevada (baixa carga alar e relação peso-potência) fazia com que o avião decolasse praticamente em pé (pousando da mesma maneira), possibilitando uma decolagem e pouso verticais (V/STOL), detalhe muito interessantes para aeronaves a bordo de porta-aviões, o que chamou a atenção da marinha dos Estados Unidos a financiarem um projeto de avião caça com a mesma configuração do V-173, o XF5U-1 “Flying Flapjack”. (<https://www.airspacemag.com/history-of-flight/restoration-vought-v-173-7990846/>)

O protótipo V-173 e o projeto do XF5U-1 foram, entretanto, abortados em 1947 pela marinha por algumas razões. A primeira é que o Flying Pancake apresentava uma difícil manobrabilidade. A empenagem era complexa composta de dois estabilizadores e elevadores normais, dois lemes e dois elevadores no centro da fuselagem. (<https://airandspace.si.edu/stories/editorial/vought-aircraft-heritage-foundation-retirees-finish-vought-v-173-flying-pancake>)

Outra razão do abandono era que o avião atingia baixa velocidade em voo para ser um caça (apenas 222km/h) e parte disso se explica pelo 3º motivo que é o motor a jato, que na época já estava mais em conta e mais simples de ser construído e montado em aviões, o que tornava as hélices obsoletas e colocar jatos no V-173 eliminaria a vantagem do V/STOL que tinha. O Flying Pancake ficou guardado por décadas desde então em diversos lugares dos EUA até que em 2004 ele foi pego pela Vought (empresa que o fabricou) para renovação e está hoje em um museu em Love Field (perto de Dallas) onde ficará até 2022.

O Burnelli CBY-3 é um avião comercial não convencional, onde os estudos foram focados em grande parte nas vantagens do aerofólio da carroceria. A ideia original, era fazer com que a carroceria se assemelhasse a um perfil de aerofólio, auxiliando as asas na função de sustentação da aeronave. Possui um alto número de carga alar, o que permite concluir que a asa possui grande capacidade de carregamento. Esses dados devem ser levados em consideração no cálculo de combustível que a aeronave deve carregar e na carga útil máxima que ela pode transportar. Dados indicam que devido a essa grande relação de potência/peso, a aeronave necessitaria de apenas 200m para decolagem. (<https://www.neam.org/restoration-cby3.php>)

A junção da parte superior das asas com a fuselagem tem uma linha tênue quase imperceptível, contribuindo para diminuir a área úmida e o arrasto. Essa diminuição de arrasto e área úmida apresentaria uma melhora no consumo de combustível em alguns casos. (<http://warbirdsnews.com/aviation-museum-news/neam-burnelli-cby-3-loadmaster-restoration-update.html>)

Embora não tenha sido produzido comercialmente em larga escala e nem conseguido vender muitos exemplares, algumas configurações modernas de aviões são produzidas tendo como base essa configuração. Como exemplo, tem-se um conceito de avião que tornou-se objeto de pesquisa da NASA, o blended with body. Trata-se de uma configuração de aeronave que não possui uma linha divisória clara entre as asas e o corpo principal. Nesse tipo de configuração, as estruturas da asa e do corpo são combinadas com o intuito de melhorar o desempenho de combustível e a eficiência aerodinâmica, visto que o corpo auxilia na sustentação da aeronave. (<https://www.nasa.gov/centers/dryden/research/X-48B/index.html>)

Todo o enxerto coletado sobre o Convair XFY-1 Pogo foi obtido através do exímio livro *“Aeronaves não convencionais de Peter M. Bowers”*.

O Convair XFY-1 - O primeiro tailsitter operacional foi um caça monoplace bem pouco ortodoxo, desenvolvido pela Convair para a marinha dos Estados Unidos sob a designação XFY-1. Deveria ser um caça para escolta de comboios, um avião capaz de operar a partir de um pequeno espaço no convés de um navio, não precisando do extenso convés de dos porta aviões. Após uma longa série de testes o XFY-1 realizou um voo livre inaugural em 2 de agosto de 1954, tornando-se a primeira aeronave VTOL sem ser um helicóptero.

Pela primeira vez, um grupo motor de hélice foi instalado numa aeronave com peso bruto menor do que o empuxo disponível. Como era necessário que a célula tivesse dimensões reduzidas, e devido a extraordinária potência do motor turbo hélice Allison YT-40-A-14 de 5850 HP, foi preciso utilizar hélices coaxiais para neutralizar o efeito do torque. (Na verdade, o XFY-1 era um bimotor, mas cada motor não acionava uma hélice em separado. Dois motores a turbina T-38 eram acoplados através de uma caixa de transmissão de eixo comum para criar o YT-40; cada um dos T-38 acionava as duas hélices, mas não uma só.)

O avião apelidado de Pogo devido ao seu movimento para cima e para baixo como um bastão pula-pula (pogo-stick), tinha asas do tipo delta com dois grandes lemes de direção verticais. As pontas das asas e os lemes de direção eram distribuídos em distâncias iguais e equipados com amortecedores de longo curso e pequenos rodets que formavam o trem de pouso. Montantes convencionais e ailerons eram eficientes durante o voo pairado, pois se localizavam na esteira de ar das hélices.

Antecipando os problemas de orientação e operação do piloto, seu assento foi montado com suspensão do tipo cardã, de forma que permanecia praticamente nivelado em todas as atitudes do avião. Embora isto simplificasse alguns dos seus problemas, o problema representado na aterrissagem de costas, olhando por cima do ombro, continuava sendo muito difícil. O primeiro voo passando de vertical para horizontal e depois novamente para vertical foi realizado em 2 de novembro de 1954. O Pogo voou com sucesso, mas não o bastante para justificar a continuidade do desenvolvimento de tailsitters. Dos dois XFY-1 construídos, um está sendo conservado na U.S. Naval Air station em Norfolk, Virginia.



A configuração V-STOL X PLANE (Vertical Take-Off and Landing Experimental Aircraft) diz respeito a um design aeronáutico no qual o avião tem sua decolagem aferida verticalmente em relação ao solo, assim como seu pouso. O objetivo de tal configuração é fazer um avião capaz de decolar, sem uso de pista, e manter de forma eficiente o seu voo e sua capacidade de “Hover” (Pairar no ar, com velocidade relativa ao solo = 0 m/s).

Tal configuração permite a habilidade de pairar no ar como um helicóptero e também voar como um avião pois seus rotores são móveis em relação a asa ou raiz de fuselagem, permitindo assim diferentes ângulos de empuxo, do vertical ao horizontal, e consequentemente voar e pairar.

A História dos aviões V-STOL começa em meados de 1950 com o Transcendental Model 1-G, avião financiado pela força aérea americana, basicamente funcionava com hélices em sua fuselagem com pequenos motores elétricos entre elas para ajustar a inclinação do seu eixo de rotação. O projeto, todavia, foi deixado de lado pois o avião nunca conseguiu completar uma transição completa entre o voo em hovering (pairando) e o voo de um avião convencional. Aos poucos o projeto foi deixado de lado e a força aérea americana voltou seus investimentos para um novo avião, Bell XV-3, desenvolvido pela empresa Bell Helicopter (já familiarizada com decolagens verticais, devido ao seu histórico com a fabricação de helicópteros). O após vários testes o Bell XV-3 teve sucesso na transição entre “helicóptero” (pairar) e avião (voar horizontalmente) completando 110 transições em sua vida útil, no entanto, sua performance era limitada devido a problemas relacionados com peso e potência e a baixa eficiência de um avião totalmente carregado em decolagens verticais, assim como instabilidades relacionadas com o estilo de propulsão Tilt/shaft rotor. (M.Bowers, Peter - Aeronaves não convencionais)



Figura 5: Transcendental Model 1-G pairando.



Figura 6: Bell XV-3 em Hoover



Figura 7: Bell XV-3 em após transição Horizontal

Devido a instabilidade do modelo de propulsão Tilt/shaft rotor, outros conceitos de propulsão foram utilizados em modelos conseguintes de aviões V-STOL com o intuito de melhorar a instabilidade de voo relacionada às mudanças de eixo da hélice em relação ao avião.

Foram mais de 14 tipos de diferentes de propulsão utilizados para se melhorar o desempenho de voo da categoria de aviões V-STOL, dentre os aviões que se seguiram na história após o Bell XV-3 pode-se citar o modelo Curtiss-Wright X-100 (1959) com propulsão Tilt Prop, o modelo Bell X-22 A (1965) e sua adaptação Bell X-22 (1966) esses dois últimos com propulsão Tilt Duct dentre outros severos tipos de aviões. (M.Bowers, Peter - Aeronaves não convencionais)

Devido a grandes problemas relacionados a peso-potência e a limitações tecnológicas a respeito das hélices dos aviões V-STOL muitos dos projetos estudados se limitaram a poucos exemplares. O motivo de tal fato é, por muito, devido à baixa eficiência dos motores movidos a combustão para sustentar de forma eficaz o peso de um avião V-STOL carregado. Também é notória a baixa eficiência no que tange ao alcance de uma boa velocidade de voo pois os rotores funcionam bem ao pairar, quando suas pás giram em torno de um eixo estacionário, mas, no voo para a frente, o ar atinge as pás do rotor em velocidades dramaticamente diferentes, à medida que as pás avançam na direção em que a aeronave está viajando ou recuam em direção à qual a aeronave veio, tal fenômeno impacta diretamente a velocidade de voo.

Todavia, com o advento da maior eficiência energética a partir do uso de motores elétricos uma nova era de pesquisas e inovações vem surgindo na indústria aeroespacial.

A Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA) em 2015 abriu caminho a um projeto de 90 milhões de dólares para desenvolvedores criarem uma configuração V-STOL seguindo o seguinte roteiro:

*“O programa de avião experimental VTOL da DARPA, ou VTOL X-Plane, procura superar esses desafios por meio da polinização cruzada inovadora entre os mundos de asa fixa e de asa rotativa, com o objetivo de promover melhorias radicais no voo da VTOL. Em vez de alterar os designs e tecnologias anteriores, o VTOL X-Plane desafia os engenheiros da indústria e inovadores a criar uma única aeronave híbrida que forçaria simultaneamente o envelope em quatro áreas:*



*Velocidade: alcance uma velocidade máxima de voo sustentada de 300 kt-400 kt*

*Eficiência do hover: aumente a eficiência do hover de 60% para pelo menos 75%*

*Eficiência de cruzeiro: apresente uma taxa de elevação / arrasto de cruzeiro mais favorável de pelo menos 10, acima de 5-6*

*Capacidade útil de carga: mantenha a capacidade de executar um trabalho útil, transportando uma carga útil de pelo menos 40% do peso bruto projetado do veículo, de 10.000 a 12.000 libras”*

É notório que com o surgimento de novas tecnologias, ideias do passado uma vez esquecidas por falta de escopo tecnológico voltem a florescer em uma sociedade mais desenvolvida em termos tecnocráticos.

Assim sendo, como cita *Matthew Whalley CEO da Passerine aircraft Corporation* : “O início de pequenas aeronaves elétricas resolveu muitos problemas anteriormente enfrentados pelos projetistas. O empuxo distribuído (montagem de motores em toda a estrutura da aeronave) é relativamente fácil, o que ajuda nos problemas de controle; e (pelo menos em pequena escala), é possível obter um impulso muito alto com um custo muito baixo em eficiência. Como resultado, um grande número de projetos de VTOL elétrico está sendo criado. Ligado a esse novo método de propulsão está o fato de muitas dessas aeronaves não serem tripuladas, eliminando a outra grande dificuldade: pilotar a aeronave.

*É um momento muito emocionante para estar na indústria aeroespacial.”*

### I.3 Emprego

O presente estudo visa adequar uma das Configurações de aeronaves citadas acima para a missão de Pulverização de 20 kg de defensivos agrícolas observando os dados mercadológicos que serão expostos a seguir, buscando alinhar os contextos do mercado atual, com os da missão.

A revista *pesquisa fapesp* trouxe em reportagem feita em setembro de 2019 o contexto dos Vants na agricultura brasileira:

“Acredito que haverá uma explosão nos próximos anos de novas tecnologias para pulverização não tripulada”, afirma o engenheiro eletricista Lúcio André de Castro Jorge, pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Instrumentação em São Carlos, no interior de São Paulo. Ele

integra um grupo que trabalha com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) na elaboração de uma instrução normativa sobre o assunto, com previsão de publicação ainda este ano. “Essas aeronaves estão entrando com tudo no cenário brasileiro, principalmente para substituir a pulverização costal”, diz, referindo-se ao aparelho colocado nas costas de um operador, que caminha pela lavoura enquanto pulveriza.

Os drones, também chamados de veículos aéreos não tripulados (vant) ou aeronaves remotamente tripuladas (RPA), foram destaque no Congresso da Aviação Agrícola do Brasil, ocorrido em agosto em Sertãozinho (SP). “O fórum sobre drones foi muito concorrido”, conta Gabriel Colle, diretor-executivo do Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (Sindag). Ele prevê, no entanto, que o artefato não irá competir ou substituir os aviões agrícolas. “O drone é um complemento” ...

O conceito de área de precisão é um modelo de vanguarda no que tange às atuais prospecções para o futuro mercado agropecuário. Nesse contexto é possível observar um “gap” econômico que surge da necessidade de implantação de novas tecnologias aliadas ao trabalho do agricultor, buscando a melhoria da aplicação e economia de preços e questões ambientais inerentes à aplicação em larga escala.

Um meio para melhor entender as relações econômicas que permeiam o mercado é através da análise de custos operacionais vinculados a missão de pulverização. Neste caso foi observado os custos operacionais vinculados ao uso de aviões, pulverizadores de área total, visto que o nicho de mercado de aviões do tipo está mais próximo da realidade e do contexto de pulverização analisado, ou seja, uma missão aérea. Também foram analisados os custos operacionais vinculados à aplicação costal uma vez que “Essas aeronaves estão entrando com tudo no cenário brasileiro, principalmente para substituir a pulverização costal” (engenheiro eletricitista Lúcio André de Castro Jorge, pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) )

A análise dos custos operacionais vinculados à aplicação costal está intimamente ligada aos custos do próprio pulverizante, do equipamento de dispersão, do salário e encargos do trabalhador manual, e da situação de trabalho e pagamento observado na lavoura, podendo variar entre pagamentos mensais ou diárias. Dessa forma, uma análise muito precisa sobre os custos operacionais necessitaria de uma análise de caso individual dentre as diversas lavouras. Todavia, pode-se generalizar algumas premissas e o custo dos equipamentos e do pulverizante. Em alguns casos, o baixo custo operacional do pulverizador costal incentiva o pequeno produtor rural; na Índia, em pequenas propriedades, o pulverizador costal motorizado é popular porque com um baixo custo operacional em relação a outras máquinas melhora a eficácia das pulverizações (Bansal, 1998). Os custos de manutenção relacionados a gastos com pulverizante são diferentes para cada tipo de lavoura, será analisado os gastos com cana de açúcar que estão descritos na tabela da associação dos fornecedores de cana de guaruda:



MANUTENÇÃO DO CANAVIAL (TRATOS CULTURAIS)					
Cultivo triplice/adubo	Tr - 180 cv	145,00	1,10 h/ha	159,50	
Fertilizante	Fórmula 20-05-20	1.406,00	0,50 t/ha	703,00	
Aplicação de herbicidas	Tr - 80 cv	110,00	0,60 h/ha	66,00	
Herbicida	Isoxaflutol (Provence)	703,20	0,12 Kg/ha	84,38	
Herbicida	Hexazinona (Velpar K)	43,00	1,70 Kg/ha	73,10	
Aplicação de gesso/calcário	Tr - 80 cv	110,00	1,00 h/ha	110,00	
Calcário	Dolomítico	120,00	0,50 t/ha	60,00	
Carpa manual	Manual	118,64	0,25 DH/ha	29,66	
Conservação carregador	Tr - 110 cv	125,00	0,50 h/ha	62,50	
Controle químico cigarrinha/sphenoforus	Tr -110 cv	125,00	1,00 h/ha	125,00	
Inseticida	Tiametoxam 75 %(Actara)	515,00	0,33 Kg/ha	169,95	
Inseticida	Fipronil (Regente)	326,52	0,25 Kg/ha	81,63	
<b>SUBTOTAL</b>					<b>1.724,72</b>

Tabela 1 Pulverização Costal e Trator

Da tabela analisada tem-se os gastos com os herbicidas, calcário, inseticida. Destes gastos pode-se subtrair da tabela o valor de 498,72 Reais. É importante notar que os gastos em questão também fazem parte de uma possível aplicação via Vant, visto que o uso dos compostos mencionados acima é inerente a qualquer aplicação, no entanto, a aplicação de precisão tem como premissa principal a diminuição de desperdícios via aplicação precisa.

Todavia o diferencial entre os gastos entre a aplicação costal e o uso de um Vant especializado para pulverização reside no tempo de aplicação, no salário do operador costal e na diferença de preço entre o aplicador costal e o Vant. O tempo é um fator que pesa na mão de todo produtor agrícola *“Economizo 50% do meu tempo em relação ao que gastava na lavoura quando não usava o drone. Este é o meu principal ganho...O próprio Rodrigues estima uma economia entre R\$ 100 e R\$ 150 por hectare no custo operacional de sua lavoura de 300 hectares de soja”* (Estadão- A declaração, do agricultor e engenheiro agrônomo Daniel de Castro Rodrigues, 05/11/2019).

A operação de um voo voltado para a pulverização agrícola consiste em maiores lucros a longo prazo para o produtor rural independentemente se a aplicação for feita por avião ou drone, visto que gastos são previstos devido ao amassamento causado pelos tratores. Schroder (2007) mostrou que, numa lavoura de soja na safra 2006/07 (onde soja ao preço de R\$28/sc, custo pulverização terrestre de R\$11/ha e da aérea de R\$22/ha e perda de 4% por amassamento), o custo total da pulverização terrestre foi 2,7 vezes maior do que a pulverização aérea. Especificamente em relação às taxas de perdas por amassamento quando a pulverização terrestre foi comparada à aérea, foram encontrados resultados na literatura apenas para a cultura da soja. Cruvinel (2017).

Portanto, apesar das referências econômicas descritas em alguns estudos, tem-se que os preços, principalmente do produto agrícola, pode sofrer muitas variações. No entanto existem alguns dados disponíveis na literatura que tentam calcular os gastos operacionais de aviões pulverizadores, esses dados, porém são antigos e alguns valores podem ser obsoletos, porém, o mesmo serve para que se tenha um breve análise dos custos. A tabela a seguir foi feita pela empresa agrotec em 2005 e tenta taxar o custo operacional por hora de um avião (não especificado).





Número de aviões:	3		
Preço Aviao:	625000,00	R\$	
Preço combustível:	3,75	R\$/l	
Preço óleo	20,00	R\$/l	
Taxa juros (investimento)	18,00	% a.a.	
Tx.encargos sociais	54,22	%	
Número de funcionários	12		
Consumo de combustível:	65,00	l/h	
Consumo de óleo	0,70	l/h	
Custo km veiculos	0,33	R\$	
Area/aviao/ano	25000,00	ha	
Rendimento:	50,00	ha / hora	
% horas nao produtivas:.....	15,00	%	
Custo mensal salarios+encargos	15678,50	R\$	
Ganho Bruto Pilotos %	15,50	%	sobre faturamento
Margem lucro	0,00	%	

Tabela 2- Dados que deram origem aos cálculos

ITEM	CUSTO/HORA - R\$	PERCENTUAL	
PESSOAL (FIXO)	125,43	13,90	
DEPRECIACAO	73,42	8,13	
SEGUROS	47,29	5,24	
FINANCEIRAS	51,85	5,75	
CPMF	3,14	0,35	fixas:
OUTRAS FIXAS	29,80	3,30	36,67
VEICULOS	26,00	2,88	
COMB.E LUBR.	257,75	28,56	
MANUT.AVIAO	135,95	15,06	
PART.RESULTADOS PILOTOS	107,77	11,94	
PIS+COFINS	32,94	3,65	variáveis:
OUTRAS VAR.	11,21	1,24	63,33
T O T A L :....	902,55	100,00	
PREÇO / HORA PRODUTIVA:	1061,82		p/ lucro 10%

Tabela 3 Custo por Hora produtiva- Avião

A acurácia dos dados expostos nesta tabela não segue a realidade dos gastos atuais voltados a aplicação de pulverização, de fato fatores como o preço do combustível, óleo, salários de pessoal habilitado, encargos e outros fatores como a inflação, tornam a tabela acima única e exclusiva para análise hipotética dos reais custos para pulverização agrícola.

As pulverizações de precisão e de área total por si só já abrangem diferentes nichos de mercado, ora por se tratar de métodos diferentes ora por terem gastos e desperdícios diversos. As prospecções futuras tendem a evidenciar que o mercado global de agricultura está tendendo ao mercado de precisão, muito pois os lucros devido ao maior controle das operações nas lavouras aliado a economia de produtos com desperdícios antes não computados visam a maior eficiência do mercado agricultor e também a um investimento mais seguro a longo prazo.

Os gastos operacionais com a agricultura de precisão tendem a ser mais caros no início do investimento devido ao maior custo para a obtenção inicial dos produtos, todavia, quando o investimento é analisado a longo prazo, o ganho tende a ser maior.

Um aparelho que abranja as ambições do mercado rural contemporâneo e que afete a vida cotidiana do trabalhador rural tem em seu cerne a inovação. Tempo é dinheiro e a economia de um resulta na economia do outro, de maneira biunívoca, ambos trabalham juntos na atual divisão do trabalho. Um enfoque bastante estimulado pelos docentes de agronomia e por Gabriel Colle, diretor-executivo do Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (Sindag) é o de que a implementação de Vants na agricultura será de maneira a complementar o trabalho feito pelos tratores e os aviões. Muito pois, como antes exposto, a função e o escopo de atuação dessas máquinas se diferem em essência, sendo o Vant voltado a pulverização de precisão e os aviões e tratores voltados a pulverização de área total, em outras palavras, o impacto de mercado dos Vants é diferente do impacto de mercado dos aviões e tratores. Haverá busca por ambos pois suas missões são diferentes.

Assim, uma comparação direta entre os preços de operação de um avião com os de um Vant não se assemelhariam com a realidade buscada por um produtor rural, e nem pelos engenheiros agrícolas do mercado.

Visto esta assimetria dentre as doutrinas de pulverização expostas, é preciso analisar a atuação do Vant no nicho de mercado de precisão que o compõem. Neste contexto, o Vant poderia entrar como um aliado ao trabalhador costal do campo, tomando o seu lugar de trabalho efetuando aplicações que antes demorariam tempo de locomoção e aumentando a precisão da aplicação. É importante ressaltar que a operação manual de pesticidas impele naturalmente ao trabalhador costal riscos a sua saúde devido ao manuseio e mau uso do material. Na prática, é comum observarmos grandes falhas e mau funcionamento dos defensivos, devido a que operadores, técnicos e usuários, por conceitos, informações equivocadas e mesmo por desconhecimentos técnicos..( José Maria F. dos Santos Eng.º Agr.º Pesq. Científico).

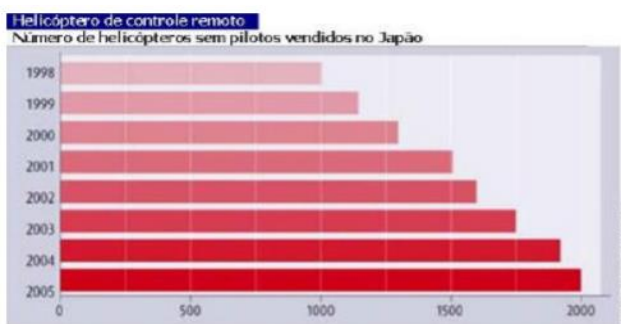
Logo, um Vant naturalmente supre esse problema antes inerente a aplicação. Outra possível inovação reside no fato de que o Vant estaria funcionando a todo momento, com uma carga útil de 20 kg, ele pode varrer áreas inalcançáveis e inundadas. Abrangendo áreas maiores e consequentemente angariando mais dinheiro ao produtor agrícola.

Empresas Brasileiras como a Prince Air Models Ltda fabricam aeromodelos, e dentre eles, Vants voltados à pulverização e imageamento agrícola. Produções dadas por essas empresas são possíveis, no entanto futuros orçamentos e análises precisam ser estimadas.

Segundo Ozdemir (2005), devido ao êxodo rural que aconteceu no Japão na última década, as lavouras sofreram uma diminuição substancial da quantidade de trabalhadores rurais, nesse contexto, a Yamaha Company iniciou o desenvolvimento de helicópteros não tripulados para compensar essa falta de trabalhadores. Hoje, a utilização destes helicópteros abrange grande área de aplicação na agricultura japonesa, nas quais o controle de peste em culturas de arroz, soja e trigo são onde o impacto desse controle é maior.



**Figura 8** – Yamaha RMAX G1 com barras de spray  
Fonte: Iwate Agricultural Junior College



**Figura 9** – Números de helicópteros sem pilotos vendidos no Japão  
Fonte: News ScientistTech

Visto a crescente demanda pela utilização de tecnologias de precisão, e pelas crescentes postagens de notícias sobre Vants neste ano de 2019, é possível notar um maior interesse e busca por tecnologias parecidas. Claramente, não é possível mensurar qual é a demanda que um Vant com a capacidade de armazenamento de 20 kg de defensivos geraria, todavia, é possível prever uma boa recepção de mercado, pois, os Vants de pequeno/médio voltados a pulverização de precisão tem carga máxima até os 15kg, fato esse que pode contribuir para que o vant Língua de Boi tenha maior visibilidade de mercado.

#### I.4 Descrição dos requisitos técnicos necessários à realização/emprego da missão proposta

Após consulta com os professores *Tiago Pereira da Silva Correia Ph.D - Mecanização Agrícola*, e *João José da Silva Júnior, Dr - Recursos hídricos em sistemas agrícolas* ficou claro através dos motivos expostos nas seções anteriores que os Vants têm papel diferente na pulverização se comparados com os Aviãos e tratores, esse papel se dá na pulverização de precisão. É importante trazer à tona que a pulverização de precisão é efetiva quando a gota de pulverizante cai onde se espera, diminuindo assim problemas relacionados à deriva e aumentando a eficácia localizada. O interesse do mercado quanto a aplicação de precisão por Vants ocorre pois os tratores e aviões já dominam a aplicação em área total, por muito devido a capacidade destas máquinas em carregar grandes quantidades de pulverizantes. Assim sendo, não é do interesse da missão nem do mercado o uso de classificações que não possibilitam a aplicação de precisão.

Uma das grandes buscas dentre os produtores rurais diz respeito a eficácia de aplicação dentre os métodos existentes, conforme descrito por Santos (2005), a eficácia da aplicação aérea em relação à terrestre depende de vários fatores, como: tipo das barras de pulverização, altura de voo, volume da calda, ajustamento dos bicos de pulverização; além de fatores ambientais que podem ter uma influência maior na aplicação aérea em relação à terrestre. Assim, pesquisas envolvendo o uso da aplicação aérea geralmente se concentram no estudo dos equipamentos utilizados para dispersão dos produtos, volumes de calda e em outros fatores que influenciam na eficiência técnica

da prática. Muitos deles comparando com a aplicação terrestre. Alguns exemplos destes estudos podem ser encontrados em Bayer et al. (2011), Cunha et al. (2010), Cunha & Carvalho (2005), Menechini et al. (2017), Reis et al. (2010), Antuniassi (2005), Cunha et al. (2014), Santos (2003) entre outros.

Dentre os fatores que influenciam na eficiência técnica da prática de pulverização aérea realizada por Vants de uso de precisão é importante citar a questão da deriva, pois esta é substancialmente diminuída se comparada com o uso de aviões de área total ou mesmo Vants de área total. Tal abordagem sobre a deriva é de importante análise visto o grande impacto econômico que danos ambientais gerados pela deriva causam ao agricultor.

Informações de ordem econômica, em situações onde o produtor pode escolher entre a pulverização aérea ou terrestre são pouco encontradas. Entretanto, os ganhos econômicos que o produtor pode auferir neste sistema dependem muito das condições em que a aplicação será aplicada. Por exemplo, se for a condição for aplicação de um fungicida numa lavoura que está encharcada, o ganho econômico é a diferença entre o quanto houve de ganho de produtividade e, consequentemente, de renda para o produtor por ter efetuado àquela pulverização menos o custo da mesma. Não se compara a diferença de custo entre pulverização aérea e terrestre neste caso uma vez que esta última não era uma opção viável. (Cabral da Costa, Cinthia 2017)

Logo, é de importância identificar em qual situação a pulverização efetuada pelo Vant será efetuada, levando sempre em conta a questão da pulverização se tratar de pulverização de precisão e desta análise partir para buscas de similitude entre modelos aplicados.

Os requisitos, portanto, dependem da missão a ser observada, para a missão de pulverização de precisão, os requisitos dizem respeito a um Vant capaz de pulverizar em baixas altitudes áreas de difícil acesso, encharcadas, terrenos distantes do trabalhados costal e/ou uma maior quantidade de lavoura em menor tempo se comparado com o trabalhador costal. Os Docentes na área agrícola indicaram que para maior completude da missão analisada é também preciso evitar o uso de pistas de decolagem visto que não são todas as lavouras que possuem espaço e capital para suportarem uma pista de voo. Dessa forma, uma abordagem que requer menor espaço para decolagem como requisito abrange inerentemente maior nicho econômico visto que pode ser usado por agricultores dos mais diversos portes.

## I.5 Adequação das configurações a Missão proposta

Foi analisado neste tópico as vantagens e desvantagens das configurações propostas em sala de aula, levando em consideração a adequação para Vants dos dados coletados.

Comparativo de Configurações		
MODELOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
BURNELLI CBY-3	<ul style="list-style-type: none"><li>Alto número de carga alar (maior capacidade de carregamento).</li><li>Área úmida e arrasto reduzidos</li><li>Distribuição de carga elíptica</li><li>Potência suficiente para carregar 6X o seu peso</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Competição com aviões de grande carga</li><li>Carga útil da asa dividida com o combustível</li><li>Grande velocidade para levantar voo</li></ul> <p>Necessidade de pista Pulverização modelo área total</p>
V-173 FLYING PANCAKE	<ul style="list-style-type: none"><li>Menor vórtice na ponta de asa (menor arrasto induzido)</li><li>Decolagem curta e rápida</li><li>Baixa velocidade de pouso e voo</li><li>Boa sustentação devido ao fluxo de ar gerado pelas hélices</li></ul>	<p>Pulverização modelo Área total</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Dificuldade para realização de manobras e instalação das superfícies de controle</li></ul> <p>Necessidade de pista</p>
V-STOL X PLANE	<p>Ganho de eficiência motores elétricos</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Decolagem sem pista</li><li>Capacidade de pairar ou voar como um avião</li><li>Montagem fácil dos motores</li><li>Capacidade para um impulso alto com custo baixo e atingir alta velocidade de voo</li></ul> <p>Alcance aceitável Modelo Aplicação de precisão</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>Dificuldade de transição do voo em hovering (pairando) e o voo de um avião convencional</li><li>Baixa eficiência na decolagem com a propulsão Tilt/shaft rotor</li><li>Envergadura da asa necessariamente larga</li><li>Controladores convencionais são inúteis em caso de pouso ou decolagem</li></ul>
XFY- 1 POGO	<ul style="list-style-type: none"><li>Não necessita de pista (decolagem vertical)</li><li>Asa delta (menor arrasto de onda) e maior velocidade</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Necessita de um motor muito potente</li><li>Difícil controle em voo pairado em um grande período de tempo (ausência de controles para altitude de voo)</li><li>Problemas de controle em fluxo turbulento</li><li>Problemas de orientação para o piloto<ul style="list-style-type: none"><li>Capacidade de carga baixa</li></ul></li><li>Grande área de superfície de asa (maior arrasto viscoso)</li></ul> <p>Modelo de Área Total</p>

Tabela 4 Vantagens e desvantagens Vants

A tabela foi feita levando em consideração os princípios básicos de uma aplicação de precisão e as necessidades de mercado observadas nos tópicos anteriores. Desta análise foi feito vantagens e desvantagens relacionando aspectos da engenharia aeronáutica com a busca do meio agrônomo aliando assim a missão com os fins aeronáuticos.

O funcionamento do vant será elétrico, a propulsão elétrica simplifica a transmissão de energia em relação aos trens de acionamento mecânico e incentiva a transição dos sistemas tradicionais de rotores com controles coletivos e cíclicos para os sistemas com vários rotores com controle diferencial de empuxo por meio de rotores de velocidade variável. (A Study in Reducing the Cost of Vertical Flight with Electric Propulsion, Boeing)

## II Levantamento Inicial

### II.1 Relação das aeronaves (Vants) que realizam missões semelhantes



As universidades brasileiras têm um pequeno histórico na fabricação de Vants voltados à missões agrícolas. O vant Agrorobot idealizado por José Roberto Rasi é um exemplo de Vant motorizado de voo horizontal capaz de carregar uma carga de 100 kg de pulverizante. Todavia, o método de aplicação efetuado é o mesmo que o dos aviões tripulados, seguindo padrões específicos de aplicação muito similares aos padrões observados numa aplicação pilotada.

No que tange a aplicação de precisão, visto que o nicho de mercado quanto a pulverização de precisão está em crescente prospecção existem no mercado poucos Drones voltados a missão específica de pulverização. A razão para tal, pode ser justificada por dois motivos, o primeiro deles diz respeito ao que já foi dito anteriormente sobre o recente nicho de mercado, o segundo motivo está relacionando a quantidade de carga que drones e/ou vants com a especificação de voo de precisão conseguem carregar. O motivo deste problema de carga está relacionado com a grande energia requerida para sustentar um voo somente vertical, e a necessidade desta constante busca por voos somente verticais nasce da intrínseca questão de se poder pulverizar com precisão uma certa área demarcada.

Devido a este problema de carga, a literatura sobre vants agrícolas abrange muito mais dados sobre Vants de imageamento do que vants voltados a pulverização e consequentemente altos carregamentos. A tabela abaixo mostra dados sobre Vants do mercado nacional e internacional que realizam a missão de pulverização, levando em consideração suas características principais, carregamento de defensivo agrícola e o preço, este último já convertido para moeda nacional.

<i>Drone</i>	<i>Características Principais</i>	<i>Preço</i>
Drone De Pulverização 10l M6e-1 18901	<ul style="list-style-type: none"><li>•Feito para ser portátil e fácil de manusear e guardar.</li><li>•Tecnologia a prova de água.</li><li>•Sistema de voo inteligente</li></ul>	R\$ 72,800.00
Drone De Pulverização 05l M4e 18701	<ul style="list-style-type: none"><li>•Capacidade máxima de 5 L</li><li>•Autonomia de voo de 5 min com tanque cheio</li><li>•Somente 2 bicos pulverizadores</li></ul>	R\$ 45,000.00
Drone Dji Agras Mg-1p Agrícola Pulverizador Novo Modelo	<ul style="list-style-type: none"><li>•Câmera com ângulação de 123°</li><li>•Radar de precisão de 15 m</li><li>•Carga útil de pesticida: 10 L</li><li>•Certificação IP67</li></ul>	R\$ 94,400.00
Drone Pulverizador 15/litros com Bicos Eletrostáticos	<ul style="list-style-type: none"><li>•Peso líquido de 20 kg</li><li>•Tempo de voo de 10 a 15 minutos</li><li>•Fluxo de pulverização: de 2.5 a 3 L/min</li></ul>	R\$ 70,000.00
<b>Preço médio</b>	-----	<b>R\$ 70,550.00</b>

Tabela 5 Vants do mercado nacional e internacional

## II.2 Limitações das aeronaves (Vants) que realizam missões semelhantes

Ao abranger a análise das limitações vinculadas a missão de pulverização efetuada por vants é preciso, novamente, observar separadamente os contextos entre os vants voltados a pulverização de precisão e os vants de alto carregamento voltados a pulverização de área total.

Analisando primeiramente as limitações de Vants quanto ao voo agrícola, José Rasi cita em sua monografia (2008) que: O voo agrícola é diferente em muitos aspectos de outros voos comerciais. Primeiramente, grande parte do voo é geralmente executado a baixa altitude... Outra influência para o voo de baixa altitude é o efeito dos ventos e turbulência. A mudança da velocidade dos ventos em função da altura é muito mais acentuada perto do solo...

Deste enxerto é possível concluir que sobre os dois tipos de voo, horizontal e vertical, a questão vinculada as diferenças súbitas de vento podem ser limitações graves para a missão de pulverização. Assim, tornou-se preciso analisar as questões vinculadas aos súbitos ventos a baixa altitude a fim de tentar solucionar ou minimizar a questão.

Uma outra limitação quanto ao uso de vants que realizam a missão de pulverização, e neste caso é importante salientar que se trata de vants de precisão, é a questão da carga de pulverizante transportada, drones de voo vertical tem carga útil na faixa dos 5kg aos 15 kg e tempo de voo na faixa de 10 a 15 minutos mesmo quando os motores elétricos têm eficiência da ordem de 90%, contra 40% do motor de combustão. (Renato Baran, BNDES) e conseguem consequentemente gerar maior potência para uma dada quantidade de energia despendida. Isso ocorre, pois, a quantidade de carga requerida também aumenta o requerimento por motores mais potentes que consequentemente requerem baterias mais potentes que por sua vez pesam mais e assim acabam por limitar o tempo de voo vertical.

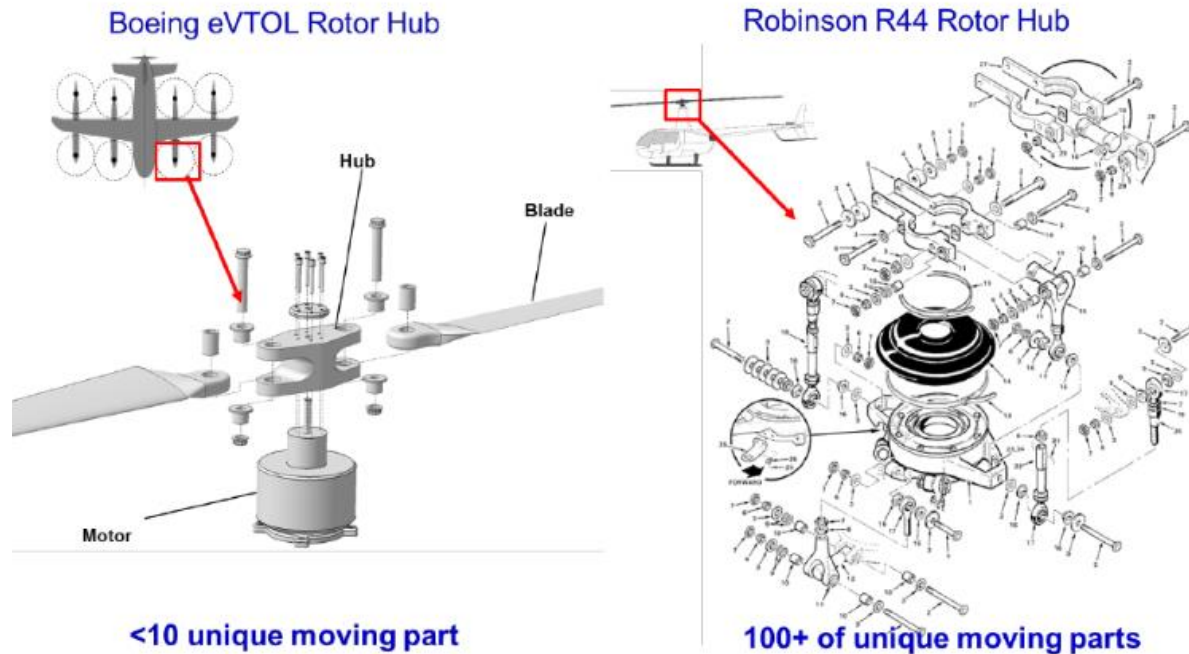
## III Detalhamento do Projeto Conceitual

### III.1 Análise

A utilização de veículos aéreos não tripulados utilizando controle aéreo e elétrico abre espaço para variadas simplicidades de construção, estrutura, trâmites jurídicos, e viabilidade econômicas. O enxerto a seguir foi retirado do texto da Boeing – A study in reducing the cost of vertical flight with electric propulsion – e diz: Os helicópteros modernos com motores tradicionais de combustíveis fósseis possuem centenas de peças móveis únicas. O grande número de peças se traduz em maior custo de manutenção, qualificação e compra em comparação com aeronaves elétricas, que tendem a ter menos componentes dinâmicos únicos. Semelhante aos veículos elétricos em terra, essas reduções de custo podem se traduzir em uma redução substancial de

custos durante a vida útil do sistema

### ***RPM Controlled vs. Articulated Rotor***



Dos dados coletados nos mais diversos meios de comunicação, livros, catálogos e da excepcional reunião com os docentes de Agronomia, das análises quanto às tendências do mercado agrícola e suas projeções futuras e da visita feita a Fazenda água Limpa - Unb, da união entre a engenharia aeroespacial e a agronomia, foi feita a análise precisa e coesa quanto ao tipo de configuração a se buscar para cumprir as demandas do futuro relacionadas ao projeto e ao mercado.

O vant Agrorobot idealizado por José Roberto Rasi capaz de carregar uma carga de 100 kg de pulverizante. Todavia, o método de aplicação efetuado é o mesmo que o dos aviões tripulados, seguindo padrões específicos de aplicação muito similares aos padrões observados numa aplicação pilotada.

No entanto, já existem diversos tipos de aviões com capacidade de carga com cerca de 8x a quantidade de pulverizantes que o Vant Agrorobot consegue transportar, há também a necessidade de pista para decolagem. Claramente torna-se necessário observar que as circunstâncias que permeiam o voo de um vant em muito contribuem para a facilitação das logísticas implementadas para se por um avião em voo e também diminuem a zero o risco de mortes relacionadas a acidentes aéreos tripulados.

A configuração que pode ser comparada com o caso do Vant Agrorobot é o Burnelli CBY asa portante e o Flying Pancake - Vought V-173.

Porém, após consulta com os professores *Tiago Pereira da Silva Correia Ph.D - Mecanização Agrícola*, e *João José da Silva Júnior, Dr - Recursos hídricos em sistemas agrícolas* ficou claro através dos motivos expostos nesta seção que os Vants têm papel diferente na pulverização se comparados com os Aviãos e tratores, esse papel se dá na pulverização de precisão. É importante trazer a tona que a pulverização de precisão é efetiva quando a gota de pulverizante cai onde se espera, diminuindo assim problemas relacionados à deriva e aumentando a eficácia localizada. O interesse do mercado quanto a aplicação de precisão por Vants ocorre pois os tratores e aviões já dominam a aplicação em área total, por muito devido a capacidade destas máquinas em carregar grandes quantidades de pulverizantes. Assim sendo, não é do interesse da missão nem do mercado o uso de classificações que não possibilitam a aplicação de precisão.

A classificação do Burnelli-Asa Portante não almeja todos as prospecções de mercado. Primeiramente, por não conseguir pairar no ar e sim locomover-se por ele. Com uma velocidade relativa ao solo maior que zero, o Burnelli entraria no mercado como uma versão de menor capacidade de carga-20kg- se comparada aos grandes aviões presentes no mercado. De forma análoga a um avião de grande porte esta configuração necessita de uma pista de decolagem, associado a inerente incapacidade de pulverizar somente as plantas específicas onde ocorre pragas, gerando problemas similares aos aviões no que tange à deriva.

Assim sendo o Burnelli concorre com os grandes aviões e tratores e devido a reduzida capacidade de carga - requisito da missão - definitivamente não seria uma solução viável economicamente e ambientalmente nem como complemento nem como substituto das máquinas agrícolas de maior porte. Certamente o Vant excluiria os problemas associados ao uso de um piloto. No entanto este problema é sanado em ambas as configurações.

A classificação tail sitter XFY - “POGO” participa do nicho dos convertiplanos VTOL e poderia ser analisada como uma possível solução para o implemento da pulverização de precisão. Todavia, devido a necessidade de muita potência para decolagem, associado ao difícil controle do voo pairado pela ausência de comandos dedicados ao voo vertical, e a baixa capacidade de carga. A configuração Tail sitter possui maior utilidade em vôos horizontais, e com isso também dividiria o mercado com os aviões agrícolas já existentes.

A classificação Flying Pancake do avião Vought V-173 possui por si só baixa manobrabilidade, todavia tem uma baixa carga alar o que possibilitaria o uso de materiais menos resistentes em sua estrutura. No entanto, como o burnelli, carrega os problemas associados à necessidade de pista e de deriva, e competiria o mercado com os aviões já existentes.

Das necessidades e aberturas que o mercado projeta quanto à implementação dos Vants no modelo de precisão, visando a ideia de complemento e não substituição das máquinas de área total, o projeto de construção de um Vant com configuração V/Stol abrange de forma significativa os requisitos de aplicação de precisão, como faria um drone, e realça as importantes necessidades de locomoção por grandes lavouras quando implementado suas capacidades de voo horizontal.

Cumprindo o papel de um drone no que tange a aplicação, como a não necessidade de uma pista, boa autonomia, boa relação peso potência em voo horizontal, menor deriva, rápida montagem dos motores, transporte facilitado, o rápido manejo, controle e unindo o poder de grandes locomoções de um avião; A classificação V/Stol mostrou-se a mais adequada ambientalmente e economicamente para os anseios da missão.

Quanto aos problemas relacionados as variações de ventos próximos a superfície, o modelo v/stol inspirado no bell x-22A possui rotores inclináveis e estes podem agir como superfícies de controle, ajustando seu ângulo de ataque e variando suas velocidades para compensar as variações de vento próximas a superfície. Outro fato que corrobora para um maior controle e estabilidade da configuração escolhida é a existência de quatro rotores, estes os quais podem manter com mais estabilidade o voo vertical do vant língua de Boi, se comparado com os helicópteros Yamaha por exemplo.

A limitação antes observada sobre as dificuldades voltadas ao carregamento foram parcialmente sanadas adicionando um sistema de ductfan de perfil de asa naca 2412 a fim de melhorar a eficiência da aeronave em ambos os tipos de voo, tal melhora na eficiência da asa ocorre pois a distância entre a hélice e o Ductfan é entre 1 e 1.5% do diâmetro da hélice (A complete design of ducted propellers using the new computer system, 2009) com essa pequena distância os efeitos de vórtice de ponta de asa são reduzidos substancialmente, favorecendo assim uma maior eficiência se comparado com a não utilização do ductfan. Com a melhor eficiência, o Vant consegue suportar maior tempo de voo e com isso mais baterias foram adicionadas sem comprometer tanto o peso total da aeronave.

### III.2 Configuração Escolhida e elaboração do esboço

Uma vez decidida qual configuração utilizar, o grupo seguiu para uma análise de quais materiais seriam utilizados, quais motores deveriam ser observados, quais hélices gerariam a propulsão necessária e onde encaixar os componentes internos na aeronave. Para a solução dessas perguntas cada integrante do grupo ficou responsável por uma parte do projeto, visando assim, projetar preliminarmente as necessidades básicas para a existência de um Vant que seguisse os propósitos, desafios e requisitos da missão.

O Vant desenhado tem geometria de tal forma que o seu centro de gravidade deve ficar localizado no ponto de encontro das diagonais que ligam motores dianteiros e traseiros de lados opostos da fuselagem. Desta forma pode-se considerar que todos os motores têm a mesma eficácia de atuação na aeronave, simplificando o sistema de monitoramento necessário para o controle da aeronave.

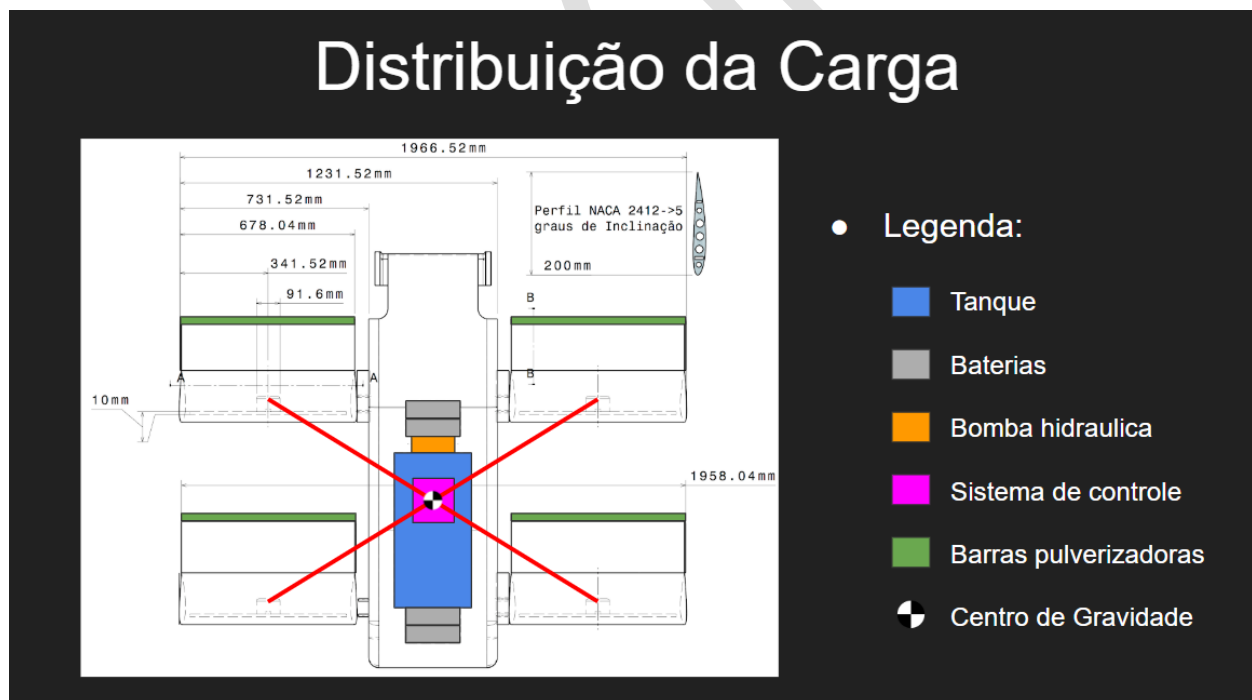
Para esta análise foi considerado que a única massa variável da aeronave é a do seu dispersante, já que todos os outros componentes são fixos em posição e massa durante todo o voo. Além de ser uma massa variável, a massa do dispersante, quando o tanque se encontra cheio em sua capacidade máxima é a massa mais considerável de toda a aeronave.



Logo, o mais importante a ser definido é a posição do tanque. Esta posição foi definida como o centro do tanque sendo localizado a 5% de excursão em relação ao comprimento do VANT a frente do ponto planejado para o CG. Esta posição foi definida tendo-se em vista a excursão máxima do CG em 10% da largura da aeronave a partir do ponto do CG ideal definido anteriormente, considerando-se as massas máximas e mínimas da aeronave.

Desta forma quando a aeronave está cheia a posição das baterias traseiras, bomba hidráulica, presença do sistema de controle na parte traseira e extensão levemente maior da fuselagem em sua parte de trás, vão contrabalançar a presença de mais massa de líquido na parte dianteira da aeronave fazendo com que esta tenha o CG levemente dianteiro.

Já quando a aeronave está vazia, estas posições escolhidas significam que o CG será levemente traseiro já que as baterias dianteiras, um pouco mais afastadas do CG ideal do que as baterias traseiras não deixam que toda a massa citada anteriormente influencie de forma muito intensa na excursão deste.



Para definir as dimensões do Vant, levou-se em consideração a necessidade de que a fuselagem do Vant fosse maior que a soma das dimensões dos componentes internos ao Vant.

Para que pudesse ser realizada uma análise aerodinâmica com um grau de confiança satisfatório, toda a teoria que permeia as equações abordadas foi oriunda dos autores (ANDERSON,2017) e (ÇENGEL,2013) Na primeira delas os cálculos foram feitos de maneira a abordar as questões que envolvem as especificações gerais do Vant língua de Boi e, portanto, trata-se também de análise de desempenho. A segunda parte dos cálculos teve enfoque nos quesitos de estabilidade e controle, sendo feita análise básica de como controlar o Vant uma vez calculado os momentos gerados pelo perfil de asa escolhido.

Antes de prosseguir para a próxima etapa de um projeto conceitual, é necessário a realização de cálculos preliminares a respeito do desempenho aerodinâmico da configuração elaborada, com o intuito de averiguar e corrigir possíveis problemas oriundos de alguma característica indesejada. Para que isso seja possível, é de fundamental importância o conhecimento das forças aerodinâmicas que atuam na aeronave durante as condições padrões de voo, para que assim seja possível calcular seu desempenho durante as mais variadas condições.

Ao final deste trabalho, será possível ao leitor responder perguntas como a velocidade com que a aeronave sobe até determinada altitude, a distância do voo de acordo com o tanque de combustível, e até mesmo o tempo de voo para uma determinada quantidade de combustível.

Para que uma aeronave possa levantar voo, é necessário que ela ultrapasse algumas forças que atuam contra o voo, como a resistência do ar e a resistência ao próprio peso da configuração. Para que essas forças pudessem ser superadas, as aeronaves utilizam-se de hélices, turbinas ou foguetes para criar um impulso que seja mais poderoso que a resultante das forças que atuam contra o voo.

Os objetivos principais da análise aerodinâmica é calcular e interpretar dados fundamentais no que tange o desempenho aerodinâmico do VANT língua de Boi. Para isso, será necessário calcular alguns dados de fundamental importância, os quais estão listados abaixo:

1. Curva de potência requerida
2. Curva máxima de potência disponível
3. Curva razão de subida x velocidade
4. Velocidade máxima de voo
5. Razão máxima de subida
6. Ângulo de planeio mínimo e sua respectiva velocidade de ocorrência
7. Estimativa de alcance máximo de voo
8. Autonomia

## 9. Distância de decolagem

### DADOS TÉCNICOS DA CONFIGURAÇÃO

#### 1. Dimensões

- Comprimento: 1,614 m
- Envergadura: 1,958 m
- Área da asa: 0,78 m<sup>2</sup>

#### 2. Motor

- Motor elétrico LU 12
- 4560 W a 4526.4 rpm
- Pico de corrente de 118 A com resistência interna de 18 m $\Omega$

#### 3. Pesos

- Peso máximo de decolagem: 490,5 N (50,01708 kgf)
- Peso vazio: 196,2 N (20,006832 kgf)

#### 4. Características aerodinâmicas

- $CD0=0,0630$
- Velocidade de voo horizontal padrão: 108 km/h (30 m/s)
- Eficiência de Oswald:  $e = 0,737$
- Fator de eficiência da hélice  $\eta = 0,8$

### CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Antes de dar início a análise preliminar de desempenho do VANT especificado, é necessário levar em consideração algumas simplificações preliminares utilizadas por conta da carência de alguns dados relacionados à configuração, bem como dar uma maior simplificação para a análise preliminar.

1. Considerou-se o fator de eficiência de Oswald um valor dentro da faixa para aviões planadores, tendo em vista que esse coeficiente é medido em laboratório ou em simulações computacionais, de tal modo que fogem do escopo deste trabalho.
2. Considerou-se a que a velocidade de voo padrão do VANT seja em torno de 30 m/s.
3. O perfil de asa utilizado no VANT foi escolhido através de uma adaptação do perfil NACA 2412, diminuindo seu comprimento original para 40 cm para que pudesse se adequar a configuração de VANT. Apenas para título de curiosidade, serão mostrados alguns gráficos relacionados aos dados aerodinâmicos deste perfil, que por sua vez foram retirados do site Airfoiltools.
4. As análises que permeiam a utilização do VANT foram divididas em duas etapas para maior comodidade de leitura, sendo a divisão efetuada entre a análise de desempenho para voo em altas velocidades (voo horizontal) e a análise de desempenho para voo em baixas velocidades (decolagem vertical). Muitas aproximações e considerações foram realizadas a respeito do voo vertical, uma vez que não se obtinham de informações suficientes para cálculos com maior acurácia.

#### 1. Desempenho para voo em altas velocidades

### COEFICIENTES DE SUSTENTAÇÃO, ARRASTO E ARRASTO INDUZIDO

As forças aerodinâmicas atuantes em uma aeronave são mostradas abaixo:

Figura 1: Forças aerodinâmicas atuantes em um aerofólio submetido a um ângulo  $\alpha$  de inclinação. Fonte: [http://www.jhelicoptero.com.br/aero\\_flapping.htm](http://www.jhelicoptero.com.br/aero_flapping.htm)

Para uma aeronave em voo subsônico estável, ou seja, sem mudanças de altitude, têm-se que a sustentação pode ser calculada por:

$$L = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 S C_L \quad (1)$$

Onde  $\rho_{\infty}$  é a densidade da atmosfera nas condições normais de temperatura e pressão,  $V_{\infty}$  é a velocidade de voo da aeronave,  $S$  é a área da asa e  $C_L$  é o coeficiente de sustentação. Para um voo em altitude constante, as forças aerodinâmicas estabelecem que o peso seja igual a sustentação. Sendo assim, tem-se que o valor da sustentação ( $L$ ) seja igual a 490,5 N, e isolando-se  $C_L$  na Eq. 1, pode-se calcular o valor do máximo coeficiente de sustentação ( $C_{LMax}$ ).

$$C_{LMax} = 1,0957 \quad (2)$$

De acordo com o autor (ANDERSON JR, 2015), o arrasto induzido ( $C_{D,i}$ ) é caracterizado como uma força de resistência aerodinâmica resultante da diferença de pressão entre as partes superior

e inferior da asa. O coeficiente de arrasto induzido pode ser calculado pela equação abaixo, dada pelo autor, onde  $b$  é a envergadura da asa,  $S$  sua

área em planta e  $e$  é o fator de eficiência de Oswald, onde  $e = 1$  para asas perfeitamente elípticas:

$$C_{D,i} = \frac{C_L^2}{\pi e AR} \quad (3)$$

Onde  $AR$  é a razão de aspecto da asa, calculado através da equação abaixo:

$$AR = \frac{b^2}{S} = 4,9151 \quad (4)$$

Com intuito de se realizar uma análise preliminar, é necessário conhecer a força de arrasto induzido na configuração. Para isso, optou-se por utilizar um perfil de asa no formato NACA 2412 modificado e a partir disso, realizar os cálculos apropriados.

Para cálculo do coeficiente de máximo arrasto induzido, foi utilizado o máximo valor do coeficiente de sustentação, dado pela Eq. 2, que corresponde a 1,1870. Substituindo esse valor e o valor de  $AR$  na Eq. 2, tem-se que:

$$C_{D,i} = \frac{C_L^2}{\pi e AR} = 0,1055 \quad (5)$$

## VELOCIDADE MÁXIMA PARA DECOLAGEM HORIZONTAL

Para que o VANT seja capaz de realizar uma decolagem horizontal, sua velocidade deve ser cerca de 20% maior do que a velocidade que causa a sustentação média. Esse percentual pode ser ajustado de acordo com um fator de segurança que se deseja, variando de acordo com a missão da aeronave. Dessa forma, a velocidade máxima para decolagem é calculada isolando-se  $V_\infty$  na Eq. 1 e substituindo o valor de  $CL$  por  $CL_{máx}$ .

$$V_{decolagem} = 1,2 \sqrt{\frac{2W}{\rho SC_{Lmáx}}} = 1,2 \sqrt{\frac{2(490,5N)}{(1,2754 \frac{kg}{m^3})(0,72m^2)(1,1870)}} = 36 \text{ m/s} \quad (6)$$

## COEFICIENTE DE ARRASTO TOTAL

Segundo o autor (ANDERSON,2017) , o coeficiente  $CD0$  é denominado mais precisamente de coeficiente de arrasto parasita em sustentação zero, ou seja, o coeficiente de arrasto quando o ângulo de ataque é 0. Supondo que o VANT irá realizar um voo estável, pode-se calcular o número de Reynolds a que o mesmo está sujeito através da equação abaixo:

$$Re = \frac{\rho_\infty V_\infty b}{\mu} \quad (7)$$



Onde  $\rho_\infty$  é a densidade do ar nas condições normais de temperatura e pressão,  $V_\infty$  é a velocidade de voo da aeronave,  $b$  é a envergadura da asa e  $\mu$  é a viscosidade dinâmica

do ar. Substituindo os respectivos valores na Eq. 7, tem-se que  $Re \approx 412000$ . Com esse valor de Reynolds, é possível realizar simulações computacionais com o intuito de se obter o respectivo valor de  $CD_0$  em sustentação 0. Entretanto, como realizar simulações computacionais fogem do escopo preliminar desta análise, buscou-se simplificar os cálculos através dos resultados de simulações já existentes no software X-FOIL v6.96 que foram disponibilizados no site Airfoiltools. O valor que mais se aproximou do número de Reynolds do VANT foi o de 500000 e, com isso, utilizou-se o  $CD_0$  para esse respectivo valor de Reynolds como uma aproximação para o  $CD_0$  do Reynolds do VANT. Com isso, obteve-se o respectivo valor:

$$CD_0 = 0,00630 \quad (8)$$

Uma vez que se obtém do coeficiente de arrasto da aeronave em sustentação 0 dado pela Eq. 8, pode-se estimar o valor do seu coeficiente de arrasto total dado pela equação abaixo:

$$C_{DMáx} = C_{D0} + C_{D,i} = C_{D0} + \frac{C_L^2}{\pi e A R} \quad (9)$$

Portanto, pode-se observar que o coeficiente de arrasto total para uma aeronave em geral é dado pela soma do coeficiente de arrasto parasita em sustentação 0 com o arrasto induzido provocado pela fuselagem e outros componentes. Substituindo os valores correspondentes das Eqs. 5 e 8 na Eq. 9 tem-se:

$$C_{DMáx} = 0,00630 + 0,1055 = 0,1118 \quad (10)$$

## MOSTRAGEM DE GRÁFICOS E CÁLCULO DE DESEMPENHO

Apenas para título de curiosidade, com os dados computacionais retirados do site Airfoiltools, foi possível realizar a plotagem dos gráficos correspondentes aos coeficientes aerodinâmicos em função do ângulo de ataque para o perfil NACA 2412 original. Os resultados estão dispostos nas imagens abaixo.

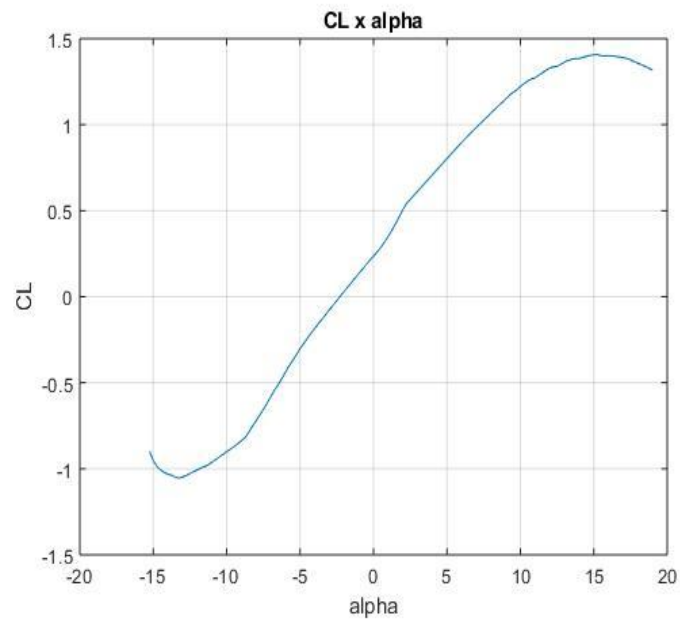


Figura 2: Coeficiente de sustentação em função do ângulo de ataque

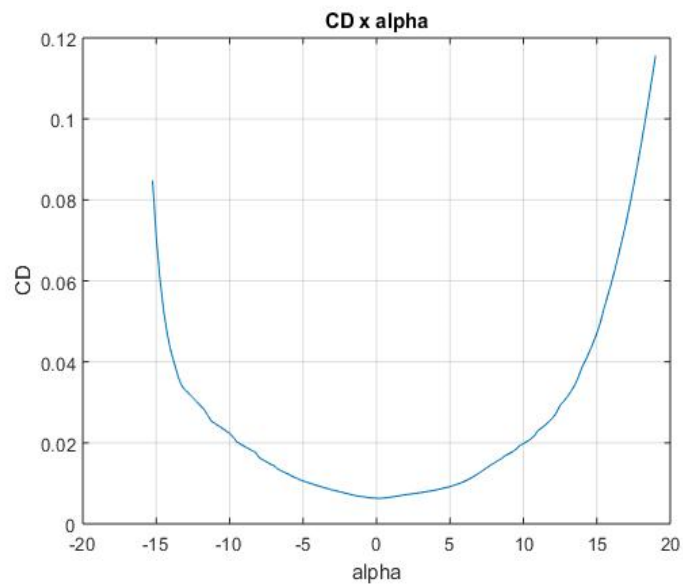


Figura 3: Coeficiente de arrasto em função do ângulo de ataque

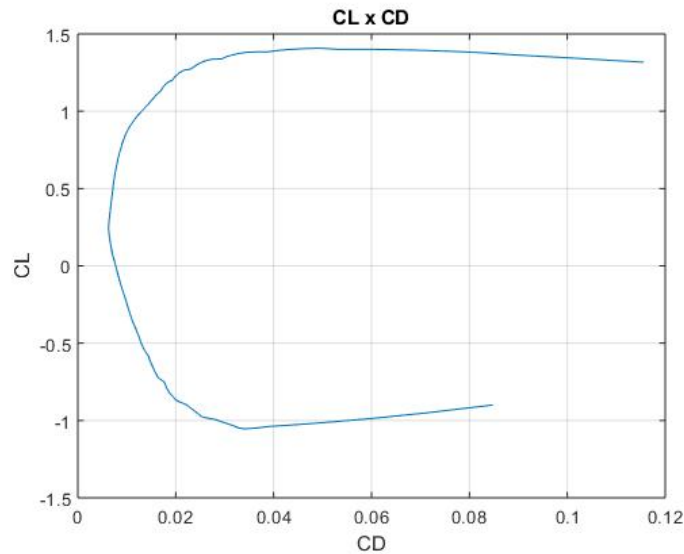


Figura 4: Coeficiente de sustentação em função do coeficiente de arrasto

Um parâmetro de muita importância no que diz respeito ao desempenho tanto de um VANT quanto uma aeronave qualquer é a eficiência aerodinâmica da configuração. De acordo com o autor (ANDERSON, 2017), a eficiência aerodinâmica ( $\varphi$ ) de uma configuração pode ser definida conforme a equação abaixo:

$$\varphi = \frac{C_L}{C_D} \quad (11)$$

Analisando os dados calculados nas Eqs. 2 e 10, é possível substituir os valores na Eq. 11 e calcular o parâmetro  $\varepsilon$ .

$$\varphi = \frac{0,8030}{0,00920} \approx 9,8010 \quad (12)$$

## EMPUXO NECESSÁRIO PARA VOO EM NÍVEL SEM ACELERAÇÃO

Para uma aeronave em voo estável sem mudanças de altitude ou velocidade, o equilíbrio de forças aerodinâmicas estabelece que o empuxo líquido ( $T$ ) da aeronave seja igual ao arrasto total. Dessa forma, tem-se que:

$$T = D = q_{\infty} S C_D$$

(13)

$$L = W = q_{\infty} S C_L$$

Dividindo a equação do empuxo pela equação da sustentação e manipulando os termos, tem-se que a equação que define o empuxo necessário para voo nivelado em velocidade constante é dada conforme abaixo:

$$T_R = \frac{W}{C_L/C_D} = \frac{W}{L/D} \quad (14)$$

A partir da Eq. 14, pode-se traçar via pacote computacional MATLAB v.2018 uma curva de empuxo requerido em função da velocidade da aeronave. O resultado é mostrado na figura abaixo.

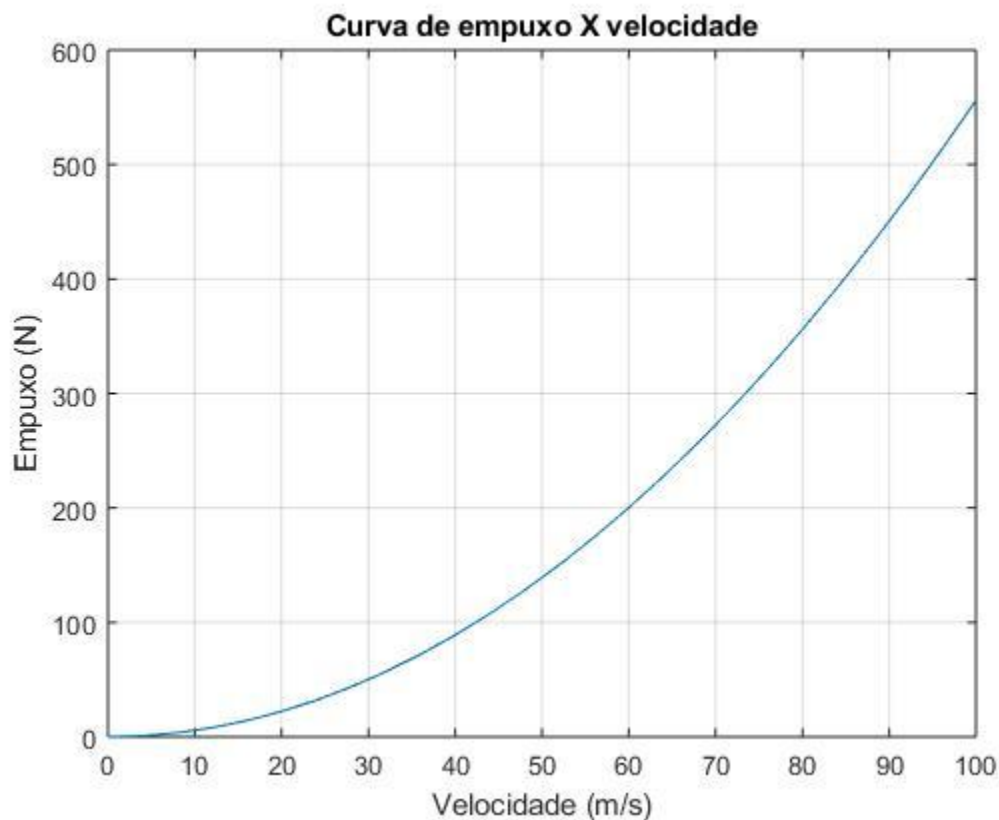


Figura 5: Empuxo requerido pelo VANT para voo nivelado sem aceleração em função da velocidade

Da fig.5 segue que o empuxo mínimo para levantar voo é dado em uma determinada velocidade tal que a eficiência  $C_L/C_D$  seja máxima. Dessa forma, o a perda será mínima e o empuxo terá valor máximo. Uma característica de extrema importância diz respeito às características aerodinâmicas do VANT nas condições em que o empuxo é mínimo. Para tal condição, tem-se de acordo com o autor (ANDERSON,2017) que o arrasto de sustentação zero é igual ao arrasto devido a sustentação, conforme equação abaixo.

$$C_{D0} = \frac{C_L^2}{\pi e AR} = C_{D,i} \quad (15)$$

### CÁLCULO DE POTÊNCIA NECESSÁRIA PARA VOO EM NÍVEL SEM ACELERAÇÃO

Para um voo nivelado em velocidade constante, tem-se que a potência necessária é dada pela equação abaixo.

$$P_R = T_R V_\infty \quad (16)$$

Com o auxílio das Eqs. 1 e 14, a Eq. 16 pode facilmente ser manipulada algebricamente, o que resulta em uma equação explícita para cálculo de potência necessária para uma aeronave.

$$V_0 = \sqrt{\frac{2W}{\rho_0 S C_L}} \quad (17)$$

$$P_R = \sqrt{\frac{2W^3 C_D^2}{\rho_\infty S C_L^3}} \propto \frac{1}{C_L^{3/2} / C_D}$$

A curva de potência foi traçada de forma análoga a curva de empuxo, e o resultado é mostrado abaixo.



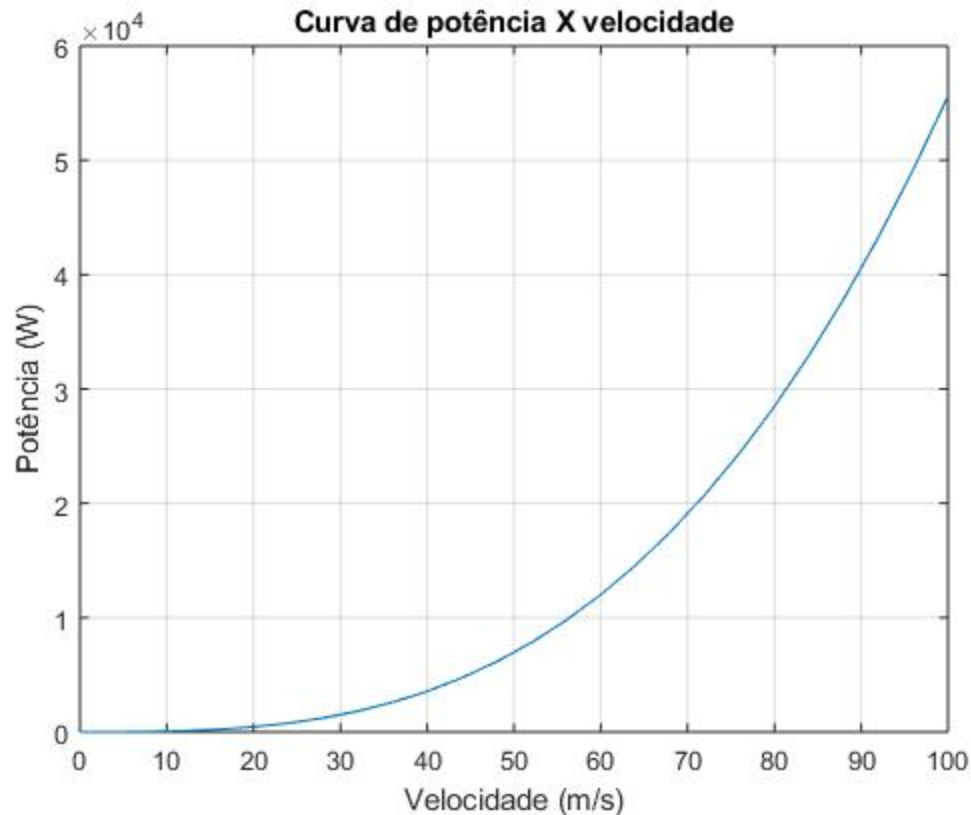


Figura 6: curva de potência necessária do VANT em função da velocidade

Uma dedução pode ser feita utilizando os procedimentos análogos a dedução realizada para chegar a Eq. 15. Dessa forma, para a velocidade que acarreta em uma potência mínima, tem-se que o arrasto em sustentação zero é igual a um terço do arrasto induzido, conforme equação abaixo.

$$C_{D0} = \frac{1}{3} C_{D,i} \quad (18)$$

Pode-se também observar que a velocidade para potência mínima é menor do que a velocidade para o empuxo mínimo.

## RAZÃO DE SUBIDA

Considerando que o VANT opte por realizar uma decolagem horizontal com uma velocidade e razão de subida, ambos constantes, com uma inclinação  $\theta$  em relação a horizontal,



tem-se que a velocidade de subida pode ser calculada pela decomposição do vetor velocidade da aeronave.

$$R/C = V_{\infty} \sin \theta \quad (19)$$

Onde  $R/C$  é usado para indicar a razão de subida, nome dado a velocidade vertical da aeronave. Para ângulos de ataque pequenos, tem-se que uma simplificação pode ser realizada, e dessa forma surge as seguintes equações.

$$R/C = \frac{P_A - P_R}{W} \quad (20)$$

$$P_A = \eta \cdot P_{Max} \quad (\text{Potência disponível}) \quad (21)$$

Onde  $P_A$  é a potência disponível e  $P_{Max}$  é a potência máxima para uso. Utilizando a Eq. 21, tem-se que a potência disponível é da ordem de 4527,2W. Sendo assim, utilizando este valor na Eq. 20, pode-se obter os respectivos valores de razão de subida, e a partir desses dados traçar uma curva de razão de subida em função da velocidade.

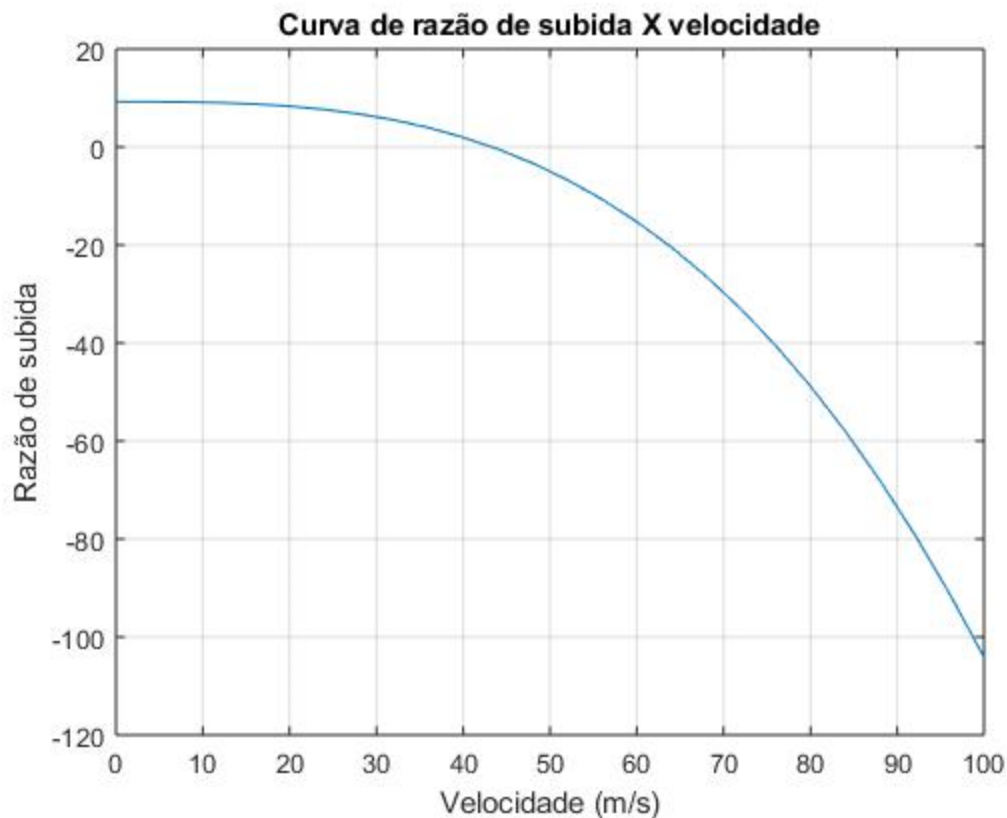


Figura 7: Curva de razão de subida em função da velocidade do VANT

## ÂNGULO DE PLANEIO MÁXIMO E SUA RESPECTIVA VELOCIDADE

Para uma aeronave em voo nivelado estável, considere o equilíbrio de forças aerodinâmicas básicas de acordo com os princípios da física clássica.

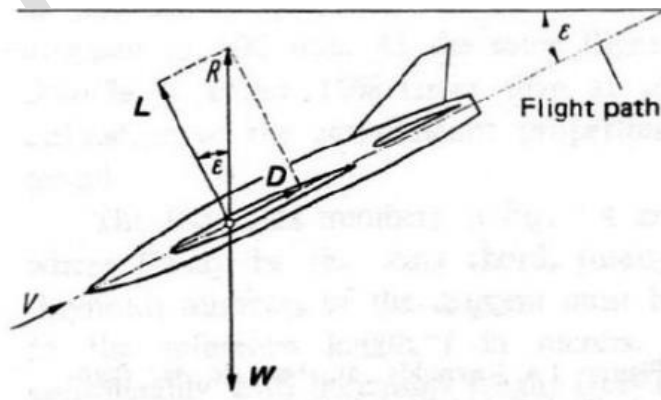


Figura 8: Forças aerodinâmicas atuantes em equilíbrio

Tem-se que  $L = W \cos \varepsilon$  e  $D = W \sin \varepsilon$  (22). Dividindo  $D$  por  $L$  e substituindo seus valores pelas suas respectivas expressões algébricas tem-se que:

$$\frac{D}{L} = \frac{1}{c_L/c_D} \tan \varepsilon \quad (23)$$

O denominador da Eq. 23 é nada mais do que a eficiência do VANT, definido anteriormente pelas Eqs. 11 e 12. Com isso, substituindo os valores e aplicando os devidos procedimentos, pode-se determinar teoricamente o ângulo de planeio máximo para o VANT. Como resultado, tem-se que o ângulo máximo de planeio em teoria é de aproximadamente  $5,8257^\circ$ , valor esse aceitável para um VANT com as devidas configurações. O procedimento análogo pode ser feito para cálculo do ângulo mínimo de planeio, levando em consideração que o peso utilizado para cálculo do coeficiente de sustentação deve ser o peso vazio do VANT.

## **2.Desempenho para voo em baixas velocidades**

Os procedimentos adotados para uma análise de desempenho foram adotados tomando em grande parte como base o desempenho da configuração para um voo horizontal. Desta forma, os procedimentos realizados nesta seção são análogos aos realizados anteriormente, seguindo os mesmos padrões e modelagens de equações anteriormente mostradas.

O voo em baixa velocidade está diretamente vinculado com o tipo de decolagem da configuração. Desta forma, no tópico 1 foi abordado o voo em altas velocidades (voo horizontal), ao passo que nesta seção os resultados serão referentes ao voo de baixa velocidade (decolagem vertical)

### **MUDANÇAS DE PARÂMETROS PARA O VOO VERTICAL**

Para a elaboração de uma análise de desempenho para voo vertical, alguns parâmetros são alterados em relação ao voo horizontal. A velocidade atuante no perfil de asa é igual a velocidade relativa do ar após passar pela hélice. Como o grupo não possui ferramentas mais complexas para a realização de tal cálculo, considerou-se que essa velocidade é em torno de duas vezes a velocidade relativa do ar ao passar pela hélice. Uma vez que os modelos de VANTs de pulverização pesquisados possuem uma velocidade de 12m/s, a velocidade atuante no perfil seria de 24 m/s.



## RESULTADOS ANALÍTICOS DE DESEMPENHO

Como as equações adotadas não se alteram independentemente do tipo de decolagem, é imprudente mencionar novamente as equações utilizadas. Desta forma, os resultados obtidos para voo em baixas velocidades são mostrados nas próximas imagens e tópicos.

### RESULTADOS

$$C_{LMax} = 1,7120 \quad (24)$$

$$C_{D,i} = \frac{C_L^2}{\pi eAR} = 0,2576 \quad (25)$$

$$V_{decolagem} = 1,2 \sqrt{\frac{2W}{\rho S C_{Lmax}}} = 28,8 \text{ m/s} \quad (26)$$

Da Eq.9 tem-se que:

$$C_D = 0,00630 + 0,2576 = 0,2639 \quad (27)$$

$$\varphi = \frac{C_L}{C_D} = \frac{1,7120}{0,2639} \approx 6,4885 \quad (28)$$

Da eq. 11, nota-se que o desempenho máximo da configuração está diretamente atrelado com o ângulo de ataque que a configuração está sujeita. Sendo assim, a eficiência máxima possui um ângulo próprio em que a mesma ocorre. Esse ângulo é dado por:

$$\theta_{Máx} = \tan^{-1} \frac{C_{DMáx}}{C_{LMax}} = 8,7614^\circ \quad (29)$$

A figura abaixo mostra a curva de empuxo em função da velocidade da configuração.



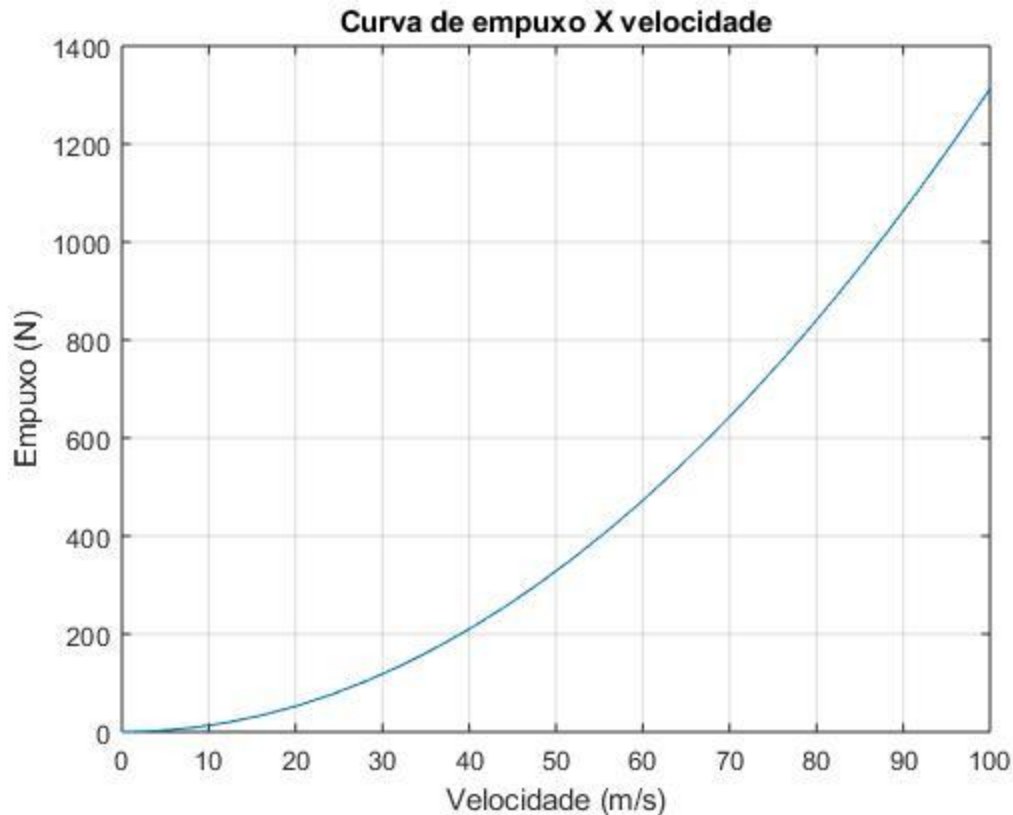


Figura 9: Empuxo em função da velocidade para um voo em baixa velocidade

Nota-se como o esperado, que o empuxo aumenta conforme a velocidade da configuração. Nota-se uma certa semelhança em relação a curva de empuxo para altas velocidades. Como sugestão de pesquisas futuras, sugere-se pesquisar se essa relação entre o voo em altas e baixas velocidades é de fato proporcional, ou se é fruto de um erro ocasionado pela falta de dados relacionados a decolagem vertical, conforme falado anteriormente no início deste trabalho.

As imagens abaixo referem-se respectivamente a curva de potência requerida pelo VANT em função da velocidade e a curva de razão de subida da aeronave em função de sua velocidade, ambas para voos em baixas velocidades.

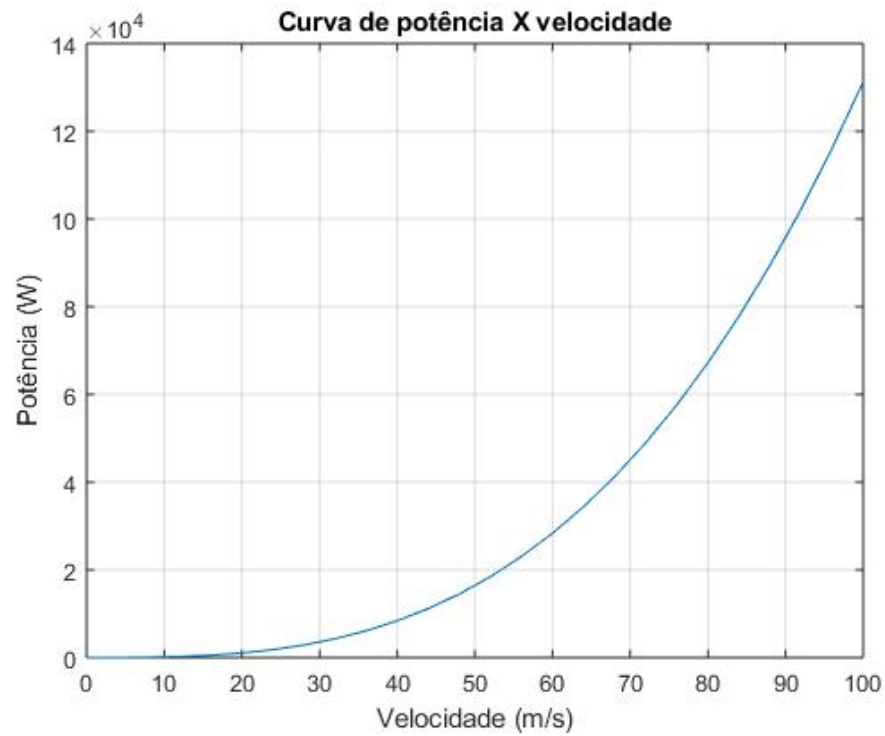


Figura 10: Curva de potência requerida em função da velocidade para um voo em baixa velocidade

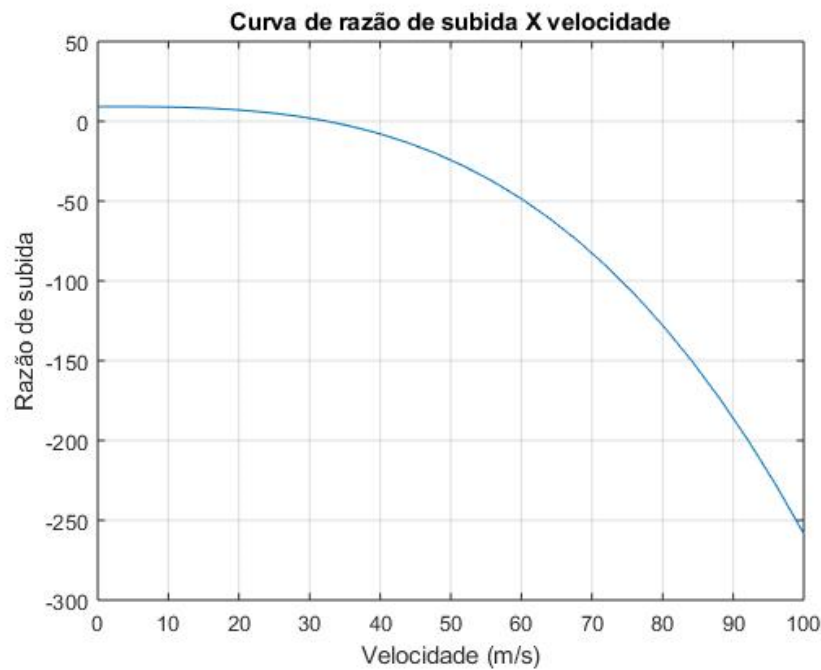


Figura 11: Razão de subida em função da velocidade para voo em baixa velocidade

Em projetos de engenharia sempre há a necessidade de descrever a estrutura do corpo final. Ela que é a responsável por garantir a integridade e a estabilidade do produto final, seja ele uma casa ou uma aeronave. O projeto estrutural é o responsável por definir como será executado as fundações e o “esqueleto” do produto com base em nos esforços solicitantes sobre a obra.

Em projetos aeronáuticos isso não é diferente. De fato, nos primeiros anos de voo da humanidade, grande parte dos acidentes ocorriam por falhas que aconteciam em alguma parte estrutural (Anderson, John D.). Os carregamentos e esforços sobre um corpo em voo são maiores que os atuantes sobre o mesmo objeto parado no chão. Dessa forma, serão analisados de maneira breve neste relatório alguns detalhes e conceitos sobre estruturas em aeronaves e será feito um comparativo com as escolhas feitas para o VANT “Língua de Boi”.

### Forças e Tensões

Uma força é um agente físico capaz de alterar o estado de movimento (inércia) de um corpo. Neste trabalho, será também usado o nome esforço para se referir a força, mais especificamente esforços resistivos, pois na análise estrutural nos interessa apenas o comportamento das partículas internas ao sistema/ corpo, as quais sempre agem de maneira resistente em reação as forças internas.

Uma tensão é a resultante das forças que agem sobre um determinado conjunto de partículas sobre um plano imaginário que representa uma vista de secção em um determinado ponto daquele corpo. Assim sendo, tensão é usualmente representa pela letra grega  $\sigma$  e é matematicamente definida como  $\sigma = F/A$ , onde  $F$  representa a força resultante e  $A$  é a área sobre a qual essa força atua. As tensões podem ser classificadas como tensões normais (tração e compressão) e cisalhantes.

As tensões operam em dois regimes distintos: No regime Elástico ou no regime Plástico. Tensões menores que determinado limite característico de cada material denominado de limite de elasticidade do material, operam no regime elástico, provocando deformações elásticas em que o corpo volta às dimensões originais quando cessada a força. O intervalo de tensões no regime elástico pode ser maior ou menor, sendo uma característica de resistência do material denominada elasticidade. Tensões neste regime trabalham na faixa de proporcionalidade onde as deformações são proporcionais às tensões.

Neste trabalho, por estarmos tratando de estruturas, estamos interessados no comportamento elástico do material, visto que no regime plástico as deformações que as forças provocam são permanentes e, portanto, alteram as propriedades do corpo, ocorrendo na maior parte das vezes acidentes.

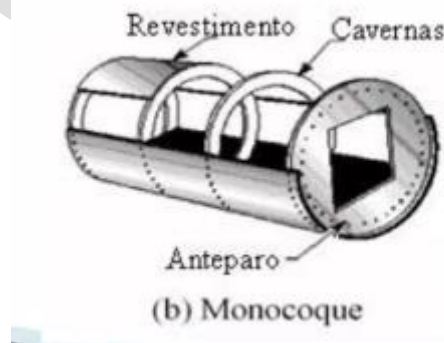
### Monocoque e semi monocoque

Em aeronáutica, existem alguns modelos de estruturas pré-definidos pois são mais comumente utilizados, sendo eles: treliçados, monocoques e semi monocoques. As treliçadas são estruturas as quais a rigidez e a resistência são decorrentes de um conjunto de barras conectadas em triângulos. Entretanto, como queremos fazer com que a própria fuselagem do VANT produza uma certa sustentação, e também tendo em vista que o Lúngua de boi não será tão comprido, as treliças não se adequam.

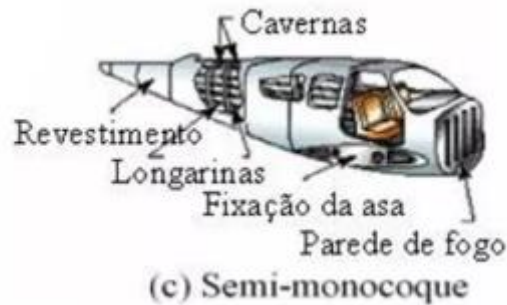


Na imagem, um “esqueleto” de avião onde se vê a fuselagem feita a base de treliçados

Monocoques são os veículos em que a distribuição de tensões se faz ao longo das cavernas e da próprio revestimento. Por esse motivo, aeronaves desse tipo precisam ser revestidas de materiais que suportem os carregamentos que aparecem em voo.



Esquema de uma estrutura monocoque (Fonte: internet)

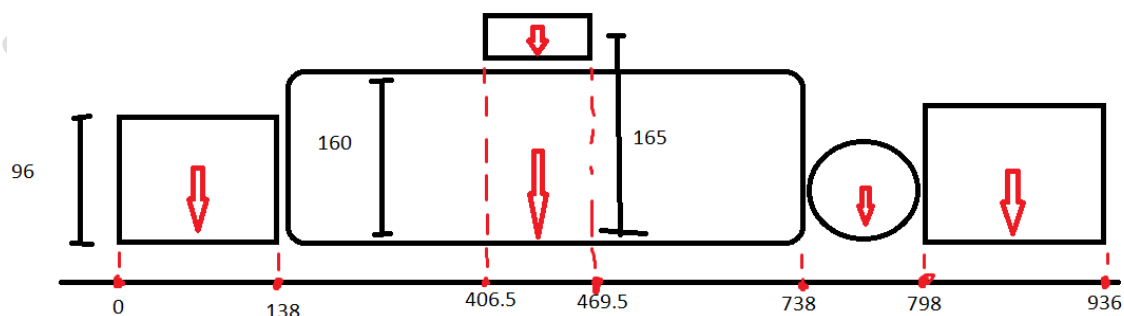


Esquema de estrutura semi monocoque (Fonte: internet)

As aeronaves que adotam estruturas semi monocoques são aquelas que requerem resistências maiores, e são monocoques reforçadas com longarinas e outras peças estruturais. Esse é o modelo que apresenta maior resistência a deformações como a flambagem, mas também são as mais complexas de serem construídas e caras, e portanto não é o mais adequado para o VANT em questão, visto que as cargas solicitantes não chegam a ultrapassar os limites de elasticidade do material escolhido para a fuselagem (fibra de vidro).

### Centro de massa e tensões na raiz da asa do Língua de Boi

Para cálculos de desempenho e mecânica de voo, é importante ter conhecimento da localização do CG (centro de gravidade) da aeronave, pois localização de asa e motores, por exemplo, dependem desse fator. Calculamos a posição do CG tomando como base as posições e massas dos componentes internos da fuselagem, a saber: baterias, tanque de pulverização, bomba de pulverização e ESC (Eletronic Speed Controller), cada unidade desses com massas respectivas de 2.65kg, 21.25kg (tanque cheio), 0.6kg e 0.4kg.



Na figura, os dois retângulos mais externos representam um par de baterias, respectivamente, o retângulo menor é o ESC, o retângulo arredondado é o tanque e o círculo é a bomba.



Para calcular o valor do “X” do centro, fizemos uma média ponderada da posição do CG de cada peça (representados pelas setas vermelhas) com suas respectivas massas (um par de baterias foi considerado uma peça só).

$$X_{CG} = \frac{69 * 5.3 + 438 * 21.25 + 438 * 0.4 + 768 * 0.6 + 867 * 5.3}{5.3 + 21.25 + 0.4 + 0.6 + 5.3}$$

$$X_{CG} = 453.708mm (\approx 48.5\% \text{ da origem})$$

Para calcular o Y, o procedimento é o mesmo basta usar as distâncias no eixo vertical:

$$Y_{CG} = \frac{2 * 48 * 5.3 + 30 * 0.6 + 80 * 21.25 + 165 * 0.4}{2 * 5.3 + 21.25 + 0.4 + 0.6}$$

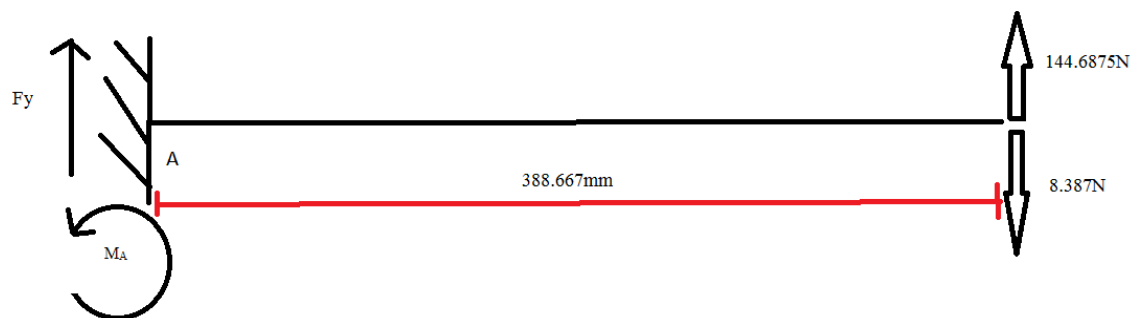
$$Y_{CG} = 69.80mm (\approx 38.8\% \text{ da origem})$$

Outro fator importante de se saber é onde o veículo terá maiores carregamentos, ou seja, onde vai ser exigido mais resistência, onde a peça estrutural ficará. Para isso, calculamos as tensões em dois locais: a parte de baixo da fuselagem (onde as cargas provenientes das peças internas se concentram) e na raiz da asa quando o VANT está em hovering (pairando). Calculando a tensão no primeiro caso, temos:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \text{ sendo a força igual ao peso, temos:}$$

$$\sigma = \frac{m * g}{A}$$

Com m sendo a massa dos componentes (32.85kg) e g a aceleração da gravidade ( $9.81m/s^2$ ), sabendo também que a área é igual a  $0.2808m^2$ , conclui-se que  $\sigma = 1.147kPa$ . Para calcular a tensão na raiz da asa, primeiro temos que saber os esforços atuando ali, fazendo então um cálculo de estática.



Representação da asa fixa na fuselagem. As forças na ponta representam a sustentação (positiva) e o peso (negativo) gerados pelo Ducted Fan.

Fazendo o equilíbrio de forças na direção vertical:

$$\sum Fy = 0, F_A + 144.6875 - 8.38 = 0, F_A = -136.3075N$$

Calculando a tensão (cisalhante) na raiz da asa, considerando a área de 0.003m²:

$$\sigma = \frac{136.3075}{0.003}$$

$$\sigma = 45.436 \text{ kPa}$$

Comparando os valores da primeira e da segunda tensão, sabemos que a tensão na raiz da asa é 45 vezes maior que a outra. Para concluirmos, basta verificar se o material escolhido suportaria essa solicitação.

### Fibra de vidro

Não é o objetivo deste trabalho fazer muitas observações sobre materiais. Entretanto é importante saber que o material em questão é leve, e a missão a qual está imbuída ao LÍngua de Boi não prevê necessidade de voos em alta velocidade, o que significa que não há necessidade de usarmos materiais com maior resistência, os quais poderiam ser mais caros ou pesados.

Também é necessário entender que a fibra de vidro é um material anisotrópico, ou seja, as propriedades mecânicas não são as mesmas considerando diferentes direções de ação de força.

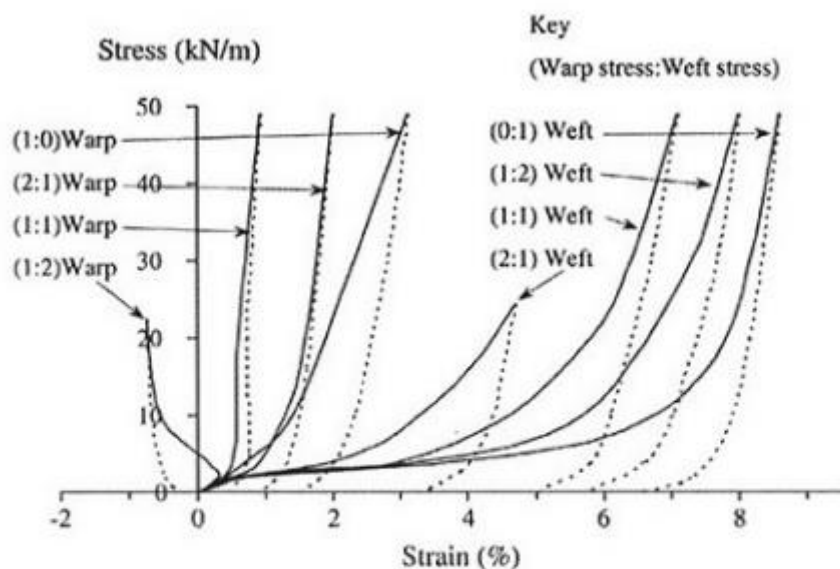
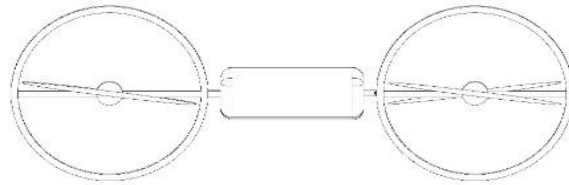


Gráfico  $\sigma$ - $\epsilon$  do primeiro ciclo de carregamento em um tecido PTFE-vidro  
(warp = urdume; weft = trama)  
Fonte: Kato *et al* (1999)

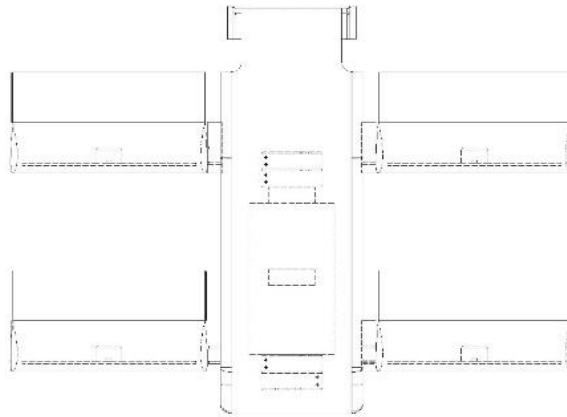
O gráfico acima mostra uma relação entre tensão e deformação para diferentes razões de carregamentos. Neste caso, avaliamos a relação 1:1, que significa que temos o mesmo carregamento nas duas direções, x e y. Analisando essa linha na faixa dos 50kN/m, vemos uma deformação linear de menos de 2% em urdume e 7% em trama, concluindo que a fibra de vidro, mesmo na região de maior tensão, suportaria boa parte do requerido.



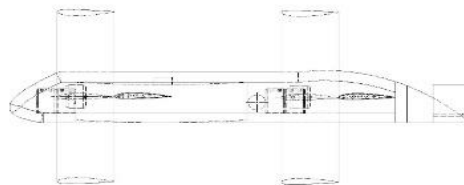
Abaixo estão os croquis e Layout do VANT



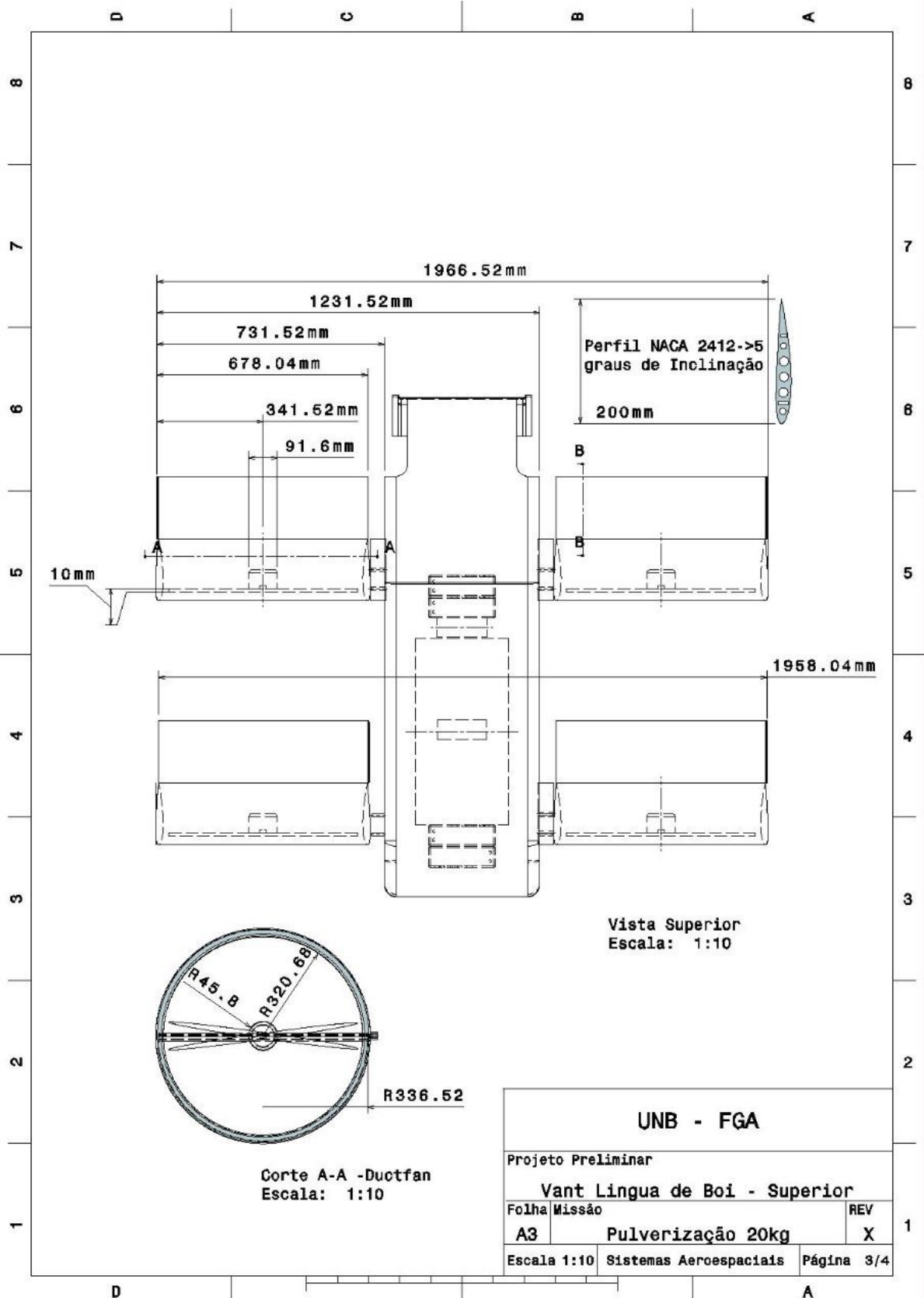
Vista Frontal  
Escala: 1:5

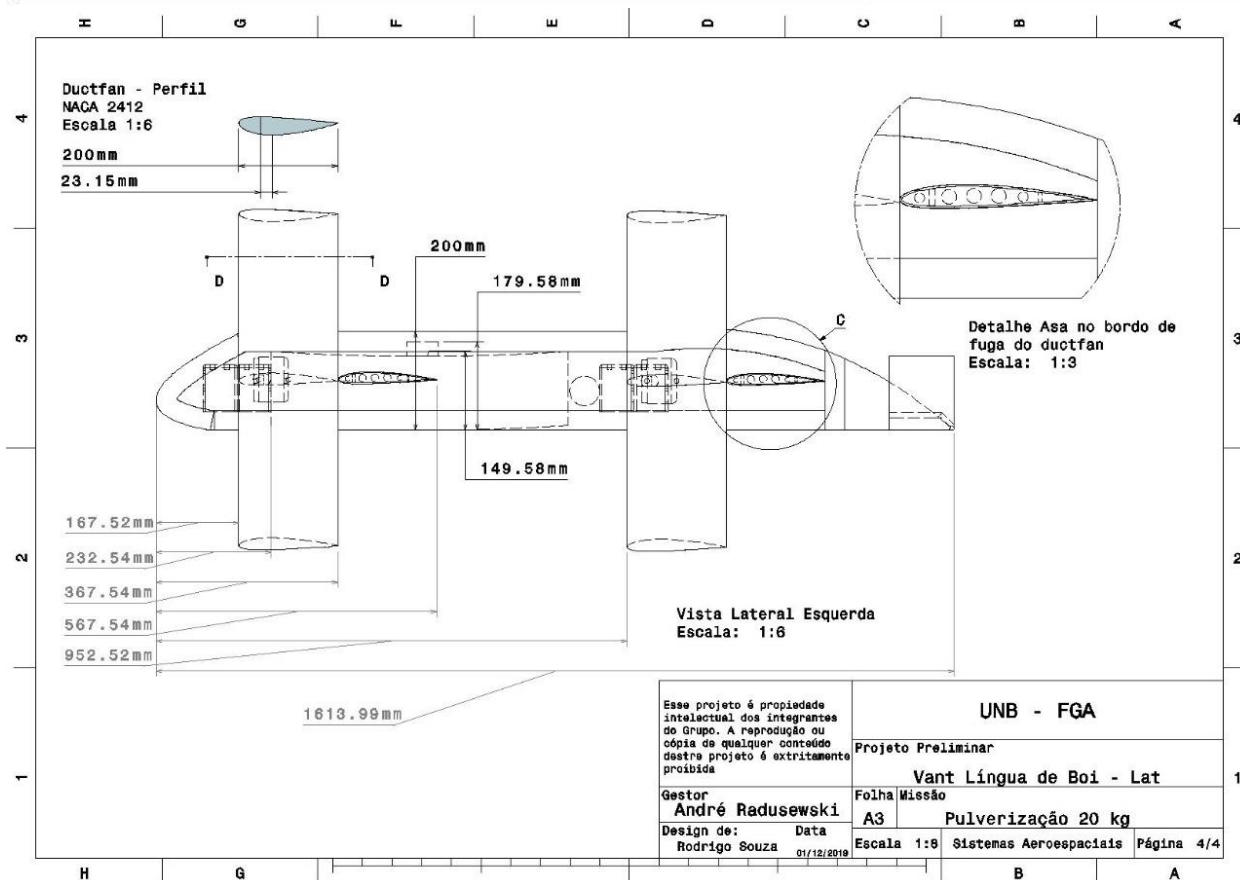


Vista Superior  
Escala: 1:5

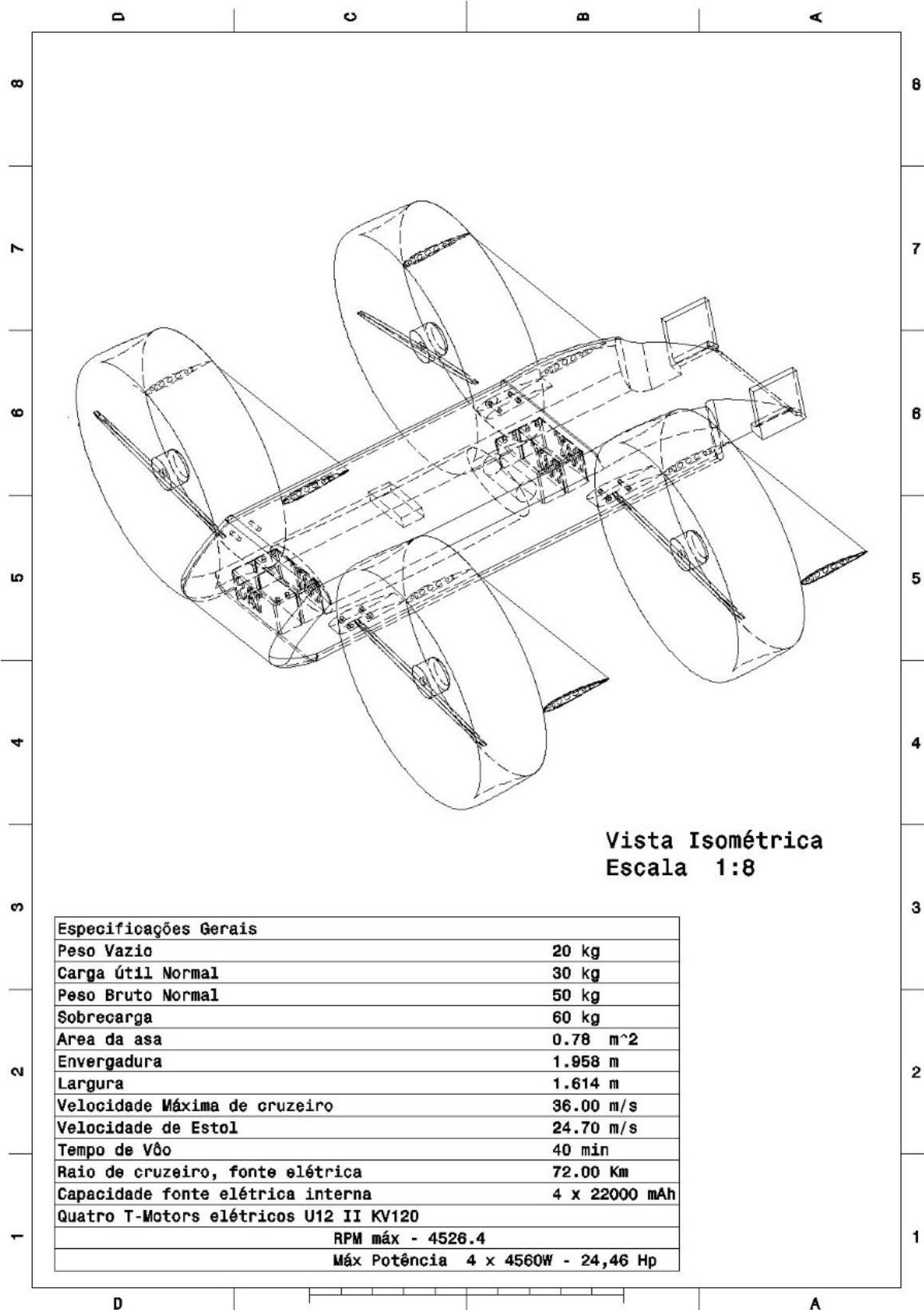


Vista Lateral Esquerda  
Escala: 1:5









## IV Detalhamento da construção

O parque tecnológico de São José dos Campos possui diversas empresas que trabalham na área voltada a construção de Vants, e aeromodelos. Uma possível proposta para a construção do Vant é a aproximação do grupo para com estas empresas a fim de encontrar algum amparo do programa de incentivo a pequenas empresas da FAPESP – Fundo de amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Como feito por Rodrigo Rasi, em seu projeto do Agrorobot.(2008). No caso do projeto de Rasi, o início da construção se deu na aproximação da empresa Prince Airmodel Ltda de Tupã/Sp. Abordar aspectos mais aprofundados sobre como os componentes seriam construídos requer que o projeto esteja mais avançado em sua espiral de projeto, uma vez que para detalhes de tal natureza, especificações do material usado, nos ductsfans, e na fuselagem teriam de ser melhor detalhados e pesquisados.

Quanto aos componentes internos do Vant como os motores, hélices, sistemas de controle e o tanque de pulverização, todos estes podem ser encontrados em lojas on-line como o web endereço <https://www.getfpv.com/> para compras de materiais aeronáuticos como os motores, hélices e superfícies de controle ou o site <https://produto.mercadolivre.com.br/> para as compras de itens baratos e uteis como a bomba de pressurização e o tanque de pulverização

Parâmetro	Dado estimado
Custo total para a compra de componentes	R\$ 10,500.00 (Já pensando em gastos imprevistos)
Custo com licenças ambientais e afins	AUSÊNCIA DE LEGISLAÇÃO
Impostos (60% imposto)	R\$ 6,300.00
Custo total para a produção do VANT	R\$ 20,000.00



## V Estimativa de custos operacionais da aeronave em operação na missão

Custo do voo: do tempo ao custo unitário (R\$ / ha)

Toda simulação necessariamente introduz simplificações e, geralmente, as estimativas dadas representam valores extremos do parâmetro simulado. No contexto da simulação de custos de Vant, as estimativas em geral podem ser lidas como o limite inferior dos custos reais. Isso depende em grande parte do fato de que não podemos imaginar preventivamente em que condições operacionais o voo ocorrerá. Em particular, não podemos considerar: (a) custos para abordar a área a ser pulverizada (isso depende da distância entre a localização do operador e a área de operações) e (b) custos para manter no local a equipe operacional (minimamente formado por duas pessoas). Além disso, as estimativas otimistas potencialmente fornecidas pelo modelo estão relacionadas à suposição de que todas as 200 horas esperadas que um único Vant pode voar em um ano são completamente executadas. Dadas essas especificações obrigatórias, nosso modelo leva em consideração os custos médios do mercado quanto a esses gastos em 2019.

Item	Informações	Preço de mercado	Item	Informações	Preço de mercado
Bomba elétrica de combustível	• Pressão: 6 bar • Voltagem: 12V • Peso: 1200 g	R\$ 250,00	Hélice G-40 Fibra de Carbono	• Diâmetro: 101,6 mm • Temperatura de operação: entre -40°C e 50°C • Limitação de impulso: 60 kg • Peso: 474 g	\$ 449,00
Bomba eletrônica	• 12 V - 2 terminais • Peso: 1200 g • Dimensões: 0.165 x 0.075 x 0.135 m	R\$ 110,00	Hélice T-motor Fibra de Carbono	• Diâmetro: 68,5 cm • Temperatura de operação: entre -40°C e 65°C • Limitação de impulso: 23 kg • Peso: 94 g	\$ 248,00
Bomba D'água alta pressão pulverizadora	• 12V com 45W de potência • Pressão máxima de trabalho de 6 bar • Vazão: 4L/min e peso de 0,6 kg • Peso: 600 g	R\$ 120,00	Hélice de fibra de carbono G32	• Diâmetro: 80 cm • Temperatura de operação: entre -40°C e 65°C • Limitação de impulso: 35 kg • Peso: 129 g	\$ 358,00
Motor LU 15	• Potência máxima: 2630 W • Torque: 8,5 N·m • Rotação: 2515 rpm	\$ 200	Bateria profissional Tattus pack	• Capacidade: 22000 mah • Voltagem: 22,2 V • Peso: 2,65 kg	\$ 369,00
Motor LU 12	• Peso: 778 g • Potência máxima: 4526,4 W • Resistência interna: 22mΩ • Rotação: 4742 rpm	\$ 225,53	Tecido Fibra de vidro	• Recomendado para aeromodelismo e fabricação de componentes	R\$ 320,00 (preço para 31 metros quadrados de tecido)
Motor LU 13	• Peso: 990 g • Potência máxima: 5659W • Resistência interna: 18mΩ • Pico de corrente: 118 A • Rotação: 4609 rpm	\$ 226,00	Fibra de Carbono		R\$ 322,00 (o metro quadrado)
			Alumínio aeronáutico	• Próprio para usinagem de peças mecânicas • Dimensões: 32 x 32 x 150 mm • Volume: 153600 mm cúbico	R\$ 100,00

Preço de Vant = 20000 R\$ (faixa de mercado = 20000–70000 R\$); A depreciação do VANT e é calculada em quatro anos, supondo que, no final do período, um lucro remanescente (10% do custo inicial) possa ser obtido com a venda de partes do sistema a outros operadores; uma taxa de segurança é considerada por acidentes inesperados (10% da taxa anual de depreciação do VANT); taxa de seguro anual = 2000 R\$ / ano (faixa de mercado = 1000–5000 R\$ / ano); uma substituição de rotor por ano (1000R\$ para um único Vant); e Quatro baterias por Vant contemporâneo disponíveis para uma missão e uma substituição por ano. Além disso, nossa simulação admite que a empresa de Vant opera com quatro Vants (número mínimo de veículos para operar todas as horas disponíveis em um ano). Foram considerados dois paradigmas de situações aéreas (CPs), com foco no número mínimo de pessoas que necessariamente deve ser considerado para torná-las operacionais.

O CP1 deve ser composto por um piloto de Vant (salário líquido = 3000 R\$ / mês por 220 dias úteis / ano e 13 meses pagos) e um assistente de voo em terra (salário líquido = 1200 R\$ / mês por 220 dias úteis / ano e 13 meses pagos). Supõe-se que um deles seja responsável por manter / revisar

o Vant ao longo do ano. Nenhuma habilidade de sensoriamento remoto está presente dentro da equipe; o processamento de dados e a interpretação das áreas a serem pulverizadas por questões agrônômicas são, portanto, atribuídos a um profissional externo (custo total = 50 R\$/h por 8 horas de trabalho). Esse custo é fixo quando o voo é concluído e, portanto, não participa da formação do custo por hora.

O CP2 deve ser composto por um piloto de Vant e um assistente de vôo no solo. As habilidades de manutenção / revisão e processamento de dados do Vant são internos à equipe. Presume-se que o salário líquido de ambos seja de 18000 R\$ / mês por 220 dias úteis / ano (13 meses são pagos). O custo bruto da empresa para o pessoal interno é definido como 1,5 vezes o salário líquido.

		R\$/h	
<i>Custos</i>	<i>N</i>	CP1	CP2
Piloto	1	93,12	93,12
Pessoal de segurança (no solo durante o voo)	1	75,05	93,12
Pulverização		42 R\$/h x 8h	42 R\$/h x 8h
Depreciação do UAV (4 anos)	4	210	210
Taxa anual de seguro UAV	4	46,7	46,7
Taxa de segurança (10% da depreciação anual do VANT)	4	21	21
Substituição da bateria (4 packs por ano)	12	112,1	112,1
Substituição dos rotores	4	11	11
<b>Total de custo por hora</b>		<b>904,97</b>	<b>923,04</b>

## VI Conclusão

A busca por novos meios de aplicação de defensivos agrícolas, sobretudo voltado aos novos métodos de precisão tem recebido boa recepção do mercado agropecuário, e pode vir a se tornar uma alternativa mais adequada para o manejo das tóxicas substâncias pesticidas. Com o uso de tecnologias mais específicas relacionadas ao manejo dos defensivos agrícolas vinculado a maior efetividade de dispersão - garantida de forma direta devido aos próprios processos de precisão como o menor uso de pesticidas e a aplicação direta - os Vants entram no proeminente mercado agropecuário como solução viável para atingir espaço nas aplicações de defensivos e sanar alguns dos problemas das hodiernas questões ambientais e econômicas.

Assim sendo, após consulta com os professores *Tiago Pereira da Silva Correia Ph.D - Mecanização Agrícola*, e *João José da Silva Júnior, Dr - Recursos hídricos em sistemas agrícolas* ficou claro através dos motivos expostos nesta seção que os Vants têm papel diferente na pulverização se comparados com os Aviões e tratores, esse papel se dá na pulverização de precisão. É importante trazer a tona que a pulverização de precisão é efetiva quando a gota de pulverizante cai onde se espera, diminuindo assim problemas relacionados à deriva e aumentando a eficácia localizada. O interesse do mercado quanto a aplicação de precisão por Vants ocorre pois os tratores e aviões já dominam a aplicação em área total, por muito devido a capacidade destas máquinas em



carregar grandes quantidades de pulverizantes. Assim sendo, não é do interesse da missão nem do mercado o uso de classificações que não possibilitam a aplicação de precisão.

Das configurações trazidas em sala de aula, a classificação V/Stol se mostrou proeminente no que tange a incorporação das características presentes em Vants do tipo Drone a aviões de vôo horizontal. Abrangendo capacidade de mercado no que permeia a necessidade de locomoção em grandes áreas agrícolas, como nas lavouras, e culminando a precisão da dispersão de defensivos quando assume sua configuração vertical.

Dentre as configurações trazidas à mesa, e após observações ambientais e econômicas ficou claro que a configuração V/STOL aborda as melhores vantagens para o projeto, visto que suas desvantagens são menos proeminentes que os seus benefícios no que tange às inclinações do mercado agropecuário e a expertise dos Docentes especialistas na área agrônômica.

As pulverizações de precisão e de área total por si só já abrangem diferentes nichos de mercado, ora por se tratar de métodos diferentes ora por terem gastos e desperdícios diversos. As prospecções futuras tendem a evidenciar que o mercado global de agricultura está tendendo ao mercado de precisão, muito pois os lucros devido ao maior controle das operações nas lavouras aliado a economia de produtos com desperdícios antes não computados visam a maior eficiência do mercado agricultor e também a um investimento mais seguro a longo prazo

Um aparelho que abranja as ambições do mercado rural contemporâneo e que afete a vida cotidiana do trabalhador rural tem em seu cerne a inovação. Tempo é dinheiro e a economia de um resulta na economia do outro, de maneira biunívoca, ambos trabalham juntos na atual divisão do trabalho. Um enfoque bastante estimulado pelos docentes de agronomia e por Gabriel Colle, diretor-executivo do Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (Sindag) é o de que a implementação de Vants na agricultura será de maneira a complementar o trabalho feito pelos tratores e os aviões. Muito pois, como antes exposto, a função e o escopo de atuação dessas máquinas se diferem em essência, sendo o Vant voltado a pulverização de precisão e os aviões e tratores voltados a pulverização de área total, em outras palavras, o impacto de mercado dos Vants é diferente do impacto de mercado dos aviões e tratores. Haverá busca por ambos pois suas missões são diferentes.

## VII Referencial Bibliográfico

[1] Tadeusz Koronowicz, Prof. Et al. *A complete design of ducted propellers using the new computer system*. The Szewalski Institute of Fluid Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences in Gdansk. 2009.

[2] Çengel. Y. Boles.M. *Termodinâmica*. 7 ed. Editora McGraw Hill. 2013





- [3] Anderson Jr.J. **Fundamentos de engenharia aeronáutica**. 7 ed. Editora McGraw Hill. 2015.
- [4] Almeida. M. et al. **Estudo de forças geradas por uma hélice**. Vitória, Espírito Santo, Brasil. 2014
- [5] Abbott, I. H., and A. E. von Doenhoff. **Theory of Wing Sections**. McGraw-Hill, New York, 1949
- [6] Anderson, John D., Jr. **A History of Aerodynamics and Its Impact on Flying Machines**. Cambridge University Press, New York, 1997.
- [7] Hallion, R. **Supersonic Flight (The Story of the Bell X-1 and Douglas D-558)**. Macmillan, New York, 1972.
- [8] McCormick, B. W. **Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics**. Wiley, New York, 1979.
- [9] Shapiro, A. H. **Shape and Flow: The Fluid Dynamics of Drag**. Anchor, Garden City, NY, 1961.
- [10] **Custo Operacional aviação agrícola – Agrotec**
- [11] **Performance and Flowfield Measurements on a 10-inch Ducted Rotor VTOL UAV**
- [12] PETER M.BOWERS - "Aeronaves não convencionais", Editora Lutécia
- [13] Defense Systems, Inc. Elements of C2 Theory. McLean: 1985.
- [14] <https://revistapesquisa.fapesp.br/2019/09/06/pulverizacao-por-drones/>
- [15] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.632.1147&rep=rep1&type=pdf>
- [16] [http://w3.ufsm.br/laser/images/0605080827\\_MONOGRAFIA\\_RASI\\_2008.pdf](http://w3.ufsm.br/laser/images/0605080827_MONOGRAFIA_RASI_2008.pdf)
- [17] <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v15i3p18-45>
- [18] <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agricultura-de-precisao-e-mais-rentavel-e-diminui-necessidade-do-uso-insumos>
- [19] [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L7802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7802.htm)
- [20] <https://cidadaoecologicobrasiliense.files.wordpress.com/2011/05/lei-df-414-1993agrotc3b3xicosatualizada3.pdf>





- [21] <https://jornal.usp.br/atualidades/morte-de-meio-bilhao-de-abelhas-e-consequencia-de-agrotoxicos/>
- [22] <https://reporterbrasil.org.br/2017/11/agrotoxicos-alimentos-brasilestudo/>
- [23] <http://www.revistas.usp.br/rdisan/article/view/97324>
- [24] <https://revistapesquisa.fapesp.br/2019/09/06/pulverizacao-por-drones/>
- [25] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.632.1147&rep=rep1&type=pdf>
- [26] [http://w3.ufsm.br/laser/images/0605080827\\_MONOGRAFIA\\_RASI\\_2008.pdf](http://w3.ufsm.br/laser/images/0605080827_MONOGRAFIA_RASI_2008.pdf)
- [27] <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v15i3p18-45>
- [28] <https://www.nasa.gov/centers/dryden/research/X-48B/index.html>
- [29] <https://www.neam.org/restoration-cby3.php>
- [30] <http://warbirdsnews.com/aviation-museum-news/neam-burnelli-cby-3-loadmaster-restoration-update.html>
- [31] [https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft\\_id=1129](https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=1129)
- [32] <https://web.archive.org/web/20131126012116/http://www.flightmuseum.com/exhibits/aircraft-3/aircraft-3/>
- [33] <http://www.vought.org/rest/html/rv-1731.html>
- [34] <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/vought-aircraft-heritage-foundationretirees-finish-vought-v-173-flying-pancake>
- [35] <https://airandspace.si.edu/collection-objects/vought-v-173-flying-pancake>
- [36] <https://www.airspacemag.com/history-of-flight/restoration-vought-v-173-7990846/>
- [37] <http://www.airvectors.net/avpogo.html>
- [38] <https://web.ipmsusa3.org/content/convair-class-vf-convoy-fighter-original-proposal-xfy-1-pogo>
- [39] <https://www.defensemecanetwork.com/stories/tail-sitter-xfy-1-pogo-xfv-1/>
- [40] <https://airandspace.si.edu/collection-objects/convair-xfy-1-pogo>