



ALEX VILELA FARIA
ANA CLÁUDIA GUEDES BORGES

**ANÁLISE DE DESEMPENHO, CUSTOS OPERACIONAIS E
RISCOS DA ATIVIDADE AEROAGRÍCOLA TRIPULADA E
NÃO TRIPULADA**

LAVRAS – MG

2021

ALEX VILELA FARIA
ANA CLÁUDIA GUEDES BORGES

**ANÁLISE DE DESEMPENHO, CUSTOS OPERACIONAIS E RISCOS DA
ATIVIDADE AEROAGRÍCOLA TRIPULADA E NÃO TRIPULADA**

Concepção básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Mecânica, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Wander Vieira
Orientador

LAVRAS – MG
2021

RESUMO

A pulverização agrícola é considerada uma importante atividade para o aumento da produtividade na agricultura, não apenas para a proteção das culturas contra doenças e pragas, mas também em relação à disposição de nutrientes para as plantas. Embora existam diferentes tipos de pulverizadores, as aeronaves ganharam grande destaque desde o final da primeira guerra mundial, devido ao fato de que a pulverização aérea permite a aplicação em certa área com velocidade superior à pulverização terrestre e evita também a compactação do solo, um grande problema na agricultura. No entanto, apesar do mercado brasileiro aeroagrícola ser relevante, tendo a segunda maior frota de aeronaves agrícolas do mundo (superado apenas pelos Estados Unidos), esse setor ainda enfrenta vários desafios, como o alto custo da pulverização aérea e o alto índice de acidentes e incidentes envolvendo esse tipo de operação. Estes estão diretamente relacionados à necessidade de um voo bem próximo ao solo, aos diversos obstáculos como árvores e linhas de transmissão elétrica, além de sucessivas curvas de reversão e elevada fadiga do piloto. A fim de complementar a operação, otimizar, e até mitigar os riscos associados, o uso de aeronaves de asas fixas remotamente controladas vem sendo explorado e implementado nas lavouras. Portanto, neste trabalho, além das características da operação aeroagrícola e acidentes relacionados, estuda-se a viabilidade de um veículo aéreo não tripulado (VANT) comparada a três aeronaves agrícolas já existentes no mercado (Ipanema 202A, Thrush 510P e AT 502B), levando-se em conta a aplicação em três áreas distintas. Assim, com base no perfil de missão da aeronave, calculam-se importantes variáveis de desempenho operacional, necessárias para determinar o tempo total e o combustível gastos. É importante observar que a operação aeroagrícola envolve vários custos, como a remuneração do piloto, depreciação e manutenção dos aviões, custos de operação no solo (transporte de combustível e insumos), entre outros. Logo, justifica-se a relevância de uma estimativa de custos para se equiparar aos gastos de um VANT e chegar às devidas conclusões.

Palavras-chave: Aviação agrícola. Aplicação aérea. Estudo de acidentes. Análise de Desempenho. VANT agrícola.

ABSTRACT

Agricultural spraying is considered an important activity to increase productivity in agriculture, not only for the protection of crops against diseases and pests, but also related to the provision of nutrients for the plants. Although there are different types of agricultural sprayers, aircraft have gained great prominence since the end of the first World War, due to the fact that aerial spraying allows application in a certain area at a higher speed than land spraying, in addition to avoiding crushing of crops in the fields for not having direct contact with the ground. However, despite the Brazilian agricultural aviation market being relevant, having the second largest fleet of agricultural aircraft in the world (second only to the United States), this sector still faces several challenges, such as the high cost of aerial spraying and the high rate of accidents and incidents involving this type of operation. These are directly related to the need to fly very close to the ground, to various obstacles such as trees and electrical transmission lines, in addition to successive course reversals and high pilot fatigue. In order to complement the operation, optimize, and even mitigate the associated risks, the use of remotely controlled fixed-wing aircraft has been addressed. Therefore, in this work, in addition to the general characteristics of the aerial application operations and related accidents, the feasibility of a UAV is studied comparing to three agricultural aircraft already on this market (Ipanema 202A, Thrush 510P and AT 502B), taking into account the application in three distinct stipulated areas. Thus, based on the aircraft's mission profile, important operational performance variables necessary to determine the total time and fuel used are calculated. It is important to note that the aerial application operation involves several costs, such as the pilot's salary, aircraft depreciation and maintenance, ground operating costs (fuel transport and supplies), among others. Therefore, the relevance of a cost estimate is justified to compare the expenses of a UAV and make the appropriate conclusions.

Keywords: Agricultural aviation. Aerial application. Accident study. Performance Analysis. Agricultural UAV..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Pulverizador manual costal	9
Figura 1.2 – Trator agrícola	9
Figura 1.3 – Aeronave agrícola <i>Thrush</i>	10
Figura 3.1 – Pulverização aérea	13
Figura 3.2 – Obstáculos na zona rural	14
Figura 3.3 – Marcadores de fio de alta tensão	17
Figura 3.4 – Forças que agem no avião em voo	18
Figura 3.5 – Teoria do voo em curva	20
Figura 3.6 – Vórtices gerados na ponta de asa e pelo torque da hélice	21
Figura 3.7 – Esquema dos modelos de pontas de asa ensaiados	23
Figura 3.8 – Variação dos vórtices de ponta da asa	24
Figura 4.1 – Perfil de missão da aeronave	26
Figura 4.2 – Forças atuantes na aeronave durante o pouso e a decolagem	28
Figura 4.3 – Desempenho em voo ascendente	33
Figura 4.4 – Esquema simplificado do equilíbrio no voo descendente propulsionado	36
Figura 4.5 – Curva clássica (balão)	37
Figura 4.6 – <i>Racetrack</i>	38
Figura 4.7 – Forma Correta da curva de reversão	38
Figura 4.8 – Forma Correta da curva de reversão	38
Figura 4.9 – Manobra <i>Omega-Turn</i>	39
Figura 4.10 – Vistas e dimensões do Ipanema 202A	43
Figura 4.11 – Aeronave Ipanema 202A	44
Figura 4.12 – Vistas e dimensões da aeronave <i>Thrush 510P</i>	45
Figura 4.13 – Aeronave agrícola <i>Thrush</i>	46
Figura 4.14 – Vistas e dimensões do AT-502B	47
Figura 4.15 – Aeronave AT 502B	48
Figura 4.16 – EmbraerX e Pika fizeram parceria para produzir aeronave agrícola	49
Figura 4.17 – VANT <i>Pyka Pelican</i>	50
Figura 4.18 – VANT <i>Pyka Pelican</i>	50
Figura 4.19 – VANT <i>Pyka Pelican</i>	51
Figura 5.1 – Missão da aeronave agrícola	54

Figura 5.2 – Faixa de deposição efetiva vs faixa de deposição real	56
Figura 5.3 – Preço cobrado por kWh	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Principais tipos de ocorrências aeronáuticas na aviação agrícola	15
Tabela 3.2 – Número total de acidentes por fase de voo	16
Tabela 4.1 – Valores típicos de coeficiente de atrito para diferentes tipos de pista	29
Tabela 4.2 – Coeficientes de arrasto de sustentação zero (C_{d0})	31
Tabela 4.3 – Valores típicos de consumo específico para tipos variados de motores	32
Tabela 4.4 – Valores típicos de $(L/D)_{max}$	33
Tabela 4.5 – Formação dos custos conforme pesquisa do SINDAG	42
Tabela 4.6 – Ficha técnica do Ipanema 202A	44
Tabela 4.7 – Ficha técnica do Trush 510P	46
Tabela 4.8 – Ficha técnica AT-502B	48
Tabela 4.9 – Parâmetros da aeronave Pelican	52
Tabela 5.1 – Numeração dos casos estipulados conforme área e taxa de aplicação	54
Tabela 5.2 – Volume de aplicação de acordo com a vazão	56
Tabela 5.3 – Larguras de faixa efetivas obtidas por algumas aeronaves agrícolas	57
Tabela 5.4 – Tabela de salários mensais por tipo de empresa	59
Tabela 6.1 – Preço, depreciação e taxa de juros das aeronaves	67
Tabela 6.2 – Custos com seguros anuais	67
Tabela 6.3 – Mão de obra fixa	68
Tabela 6.4 – Custos com hangar (mensal e anual)	69
Tabela 6.5 – Custo Fixo Total Anual	69
Tabela 6.6 – Custo Fixo Total por Hora Voada	70
Tabela 6.7 – Depreciação das aeronaves para as diferentes áreas e diferentes vazões	71
Tabela 6.8 – Taxa de juros sobre o capital fixo para diferentes áreas e vazões	72
Tabela 6.9 – Seguro total para as diferentes áreas e vazões	72
Tabela 6.10 – Mão-de-obra para as diferentes áreas e vazões	73
Tabela 6.11 – Hangaragem para as diferentes áreas e vazões	73
Tabela 6.12 – Custos com combustível	76
Tabela 6.13 – Custos com energia elétrica do Pelican	77
Tabela 6.14 – Impostos pagos	77
Tabela 6.15 – Custos com mão-de-obra do piloto agrícola	78
Tabela 6.16 – Custos com manutenção/revisão das aeronaves	78

Tabela 6.17 – Somatório de todos os custos operacionais	79
Tabela 6.18 – Faturamento da empresa pelos serviços prestados	80
Tabela 6.19 – Lucros e prejuízos da empresa aeroagrícola	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Acidentes e incidentes na aviação agrícola	14
3.1.1	Conceitos e classificações de ocorrências aeronáuticas	14
3.1.2	Tipos de ocorrências aeronáuticas	14
3.2	Fatores aerodinâmicos na pulverização aeroagrícola	18
3.2.1	Influência das forças aerodinâmicas na segurança da operação aeroagrícola	18
3.2.1.1	Considerações sobre o estol	19
3.2.1.2	Voo em curva	20
3.2.2	Influência das forças aerodinâmicas na qualidade da deposição do produto	21
3.2.2.1	Deriva	21
3.2.2.2	Altura do voo	23
3.2.3	Influência das forças aerodinâmicas no custo da operação aeroagrícola	24
3.3	Veículos Aéreos Não Tripulados	25
4	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	26
4.1	Perfil de missão	26
4.2	Formulação Matemática das Fases de Voo	27
4.2.1	Abastecimento de combustível e de produto a ser aplicado	27
4.2.2	Taxiamento	27
4.2.3	Decolagem	27
4.2.4	Subida	32
4.2.5	Voo de translado	34
4.2.6	Descida	35
4.2.7	Aplicação	37
4.2.7.1	Raio Limite	38
4.2.8	Pouso	40
4.3	Custos envolvidos no processo de pulverização aeroagrícola	41
4.4	Modelos de aeronaves agrícolas	42

4.4.1	Ipanema 202A	42
4.4.2	Thrush 510P	44
4.4.3	AT 502B	46
4.4.4	VANT Pelican	49
5	METODOLOGIA	53
5.1	Análise dos acidentes na aviação agrícola	53
5.2	Análise de desempenho e custos operacionais	53
5.2.1	Tempo de abastecimento e taxiamento	54
5.2.2	Distância da pista até o local de aplicação	55
5.2.3	Taxa de aplicação, cultura e faixa de aplicação escolhidas	55
5.2.4	Custos Fixos	57
5.2.5	Custos Variáveis	60
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
6.1	Acidentes na aviação agrícola	63
6.2	Desempenho operacional	63
6.2.1	Thrush 510P	64
6.2.2	Air Tractor 502B	65
6.2.3	VANT Pelican	65
6.3	Custos Fixos	66
6.4	Custos Variáveis	75
7	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS	84
	ANEXO A – Desempenho operacional do Thrush 510P	88
	ANEXO B – Rendimento operacional do Air Tractor 502B	89
	ANEXO C – Rendimento operacional do VANT	90

1 INTRODUÇÃO

A infestação de pragas e parasitas é um agravante para a produção de alimentos, sendo necessário o uso de inseticidas e insumos para o aumento da produtividade na agricultura. Por isso, a implementação de pulverizadores agrícolas é extremamente importante. Há vários tipos de pulverizadores, como os manuais, os motorizados e as aeronaves agrícolas, conforme ilustrado nas Figuras 1.1 a 1.3.

Figura 1.1 – Pulverizador manual costal



Fonte: (FERRAMINAS, 2021)

Figura 1.2 – Trator agrícola



Fonte: (MAQNELSON, 2020)

Figura 1.3 – Aeronave agrícola *Thrush*

Fonte: (AIRCRAFT, 2021)

É natural que, nos países onde o agronegócio possua papel expressivo na economia, a aviação agrícola também tenha destaque (RASO, 2020). No Brasil não é diferente, já que o agronegócio constitui um dos pilares de nossa economia, representando uma fatia de 26,6% do PIB, de acordo com dados de 2020 do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Universidade de São Paulo (RASO, 2020).

Com o avanço da tecnologia, tornou-se muito comum o emprego de aeronaves agrícolas na pulverização de propriedades de grande extensão. Esses equipamentos têm várias vantagens, como maior eficiência e maior precisão na aplicação, o que evita desperdícios do produto químico. Ademais, possuem menores riscos de contágio dos trabalhadores com os insumos agrícolas, o que garante menor risco para a saúde desses. Contudo, a pulverização aeroagrícola apresenta algumas desvantagens, como custo mais alto e elevado número de acidentes envolvendo aeronaves agrícolas devido aos riscos da operação. Tais riscos são consideravelmente superiores àqueles verificados para os demais segmentos da aviação, bastando observar que embora a aviação agrícola represente uma fatia de 5% da frota nacional, ela foi responsável por mais de 34% do total de acidentes da aviação civil brasileira em 2020 (RASO, 2020). Portanto, além da importância ligada ao envolvimento de vidas humanas, as estatísticas de dados oficiais dos órgãos públicos ligados à aviação e relatórios finais de acidentes justificam este trabalho, pois mostram que, devido às características peculiares do emprego das aeronaves neste segmento da aviação, o número de acidentes e incidentes é bem superior ao de outras modalidades, comparando-se proporcionalmente o número de aeronaves em operação.

Surge, portanto, a necessidade de um estudo das especificidades da operação aeroagrícola, seus riscos envolvidos, estatística de acidentes e, para complementar, um comparativo envolvendo a análise de desempenho operacional e custos da operação utilizando aeronaves tripuladas e um veículo aéreo não tripulado, a fim de se obter conclusões relacionadas à viabilidade de ambos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estimar e comparar custos operacionais sobre diferentes cenários de pulverização com o emprego de aeronaves tripuladas e uma não tripulada de asa fixa, além de analisar riscos e estatísticas de acidentes envolvendo esse tipo de operação.

2.2 Objetivos Específicos

1. Discutir a operação geral de uma aeronave agrícola e conceitos envolvidos;
2. Discutir os riscos associados à operação aeroagrícola e tipos mais comuns de acidentes envolvendo essa operação;
3. Apresentar análise de desempenho operacional e custos para uma operação aeroagrícola com 3 aeronaves distintas existentes no mercado;
4. Aplicar a um VANT de asa fixa a metodologia de análise adotada, e comparar os resultados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aviação agrícola, também referida como operação aeroagrícola ou aplicação aérea, como mostra a Figura 3.1, é apresentada nas regulamentações do setor como uma atividade econômica de aplicação de qualquer substância destinada à nutrição de plantas, tratamento do solo, propagação da vida vegetal e controle de pragas (ZANATTA; AMARAL, 2015). Pode-se citar também o uso de aeronaves agrícolas com a finalidade de extinguir incêndios e espalhar sementes, apresentando grande efetividade.

Figura 3.1 – Pulverização aérea



Fonte: (SENAR, 2020)

O segmento da aviação agrícola apresenta características próprias e um ambiente operacional significativamente diferente dos demais. Esse tipo de voo envolve a realização de manobras a baixas altitudes, o manuseio e aplicação de agrotóxicos e outros insumos agrícolas, operações com carga variável, utilização de pistas não pavimentadas, baixa infraestrutura de suporte, entre outros. Além disso, pode-se considerar que as operações se dão em diversos tipos de terreno, sendo este termo justificado pelo fato de o voo ocorrer à baixíssima altitude, por volta de 2 a 4 metros (DRESCHER, 2012).

Há também a necessidade de atenção constante quanto a obstáculos comumente presentes nas áreas rurais: grandes árvores, elevações acentuadas, edificações isoladas e torres com cabos de alta tensão, como mostrado na Figura 3.2. O voo de pulverização é marcado por constantes evoluções e curvas de reversão executadas pelo piloto para se ajustar à próxima faixa do cultivo e executar o “tiro”, que consiste na passagem baixa com liberação da substância. Esse tipo de operação exige aeronaves adequadas e elevado nível de proficiência e atenção dos pilotos pela constante aplicação de comandos e precisão exigida nas manobras.

Figura 3.2 – Obstáculos na zona rural



Fonte: (SENAR, 2020)

3.1 Acidentes e incidentes na aviação agrícola

3.1.1 Conceitos e classificações de ocorrências aeronáuticas

No Brasil, o órgão responsável pela investigação de todas as ocorrências aeronáuticas de aeronaves civis é o CENIPA, órgão subordinado ao Comando da Aeronáutica (COMAER). Para que se discuta pontos relacionados aos tipos de ocorrências dos acidentes e incidentes, é necessário primeiramente conhecer alguns conceitos a respeito de investigação de acidentes. De acordo com a Norma do Sistema do Comando da Aeronáutica (NSCA) 3-13 (Ministério da Defesa, 2014a, p.12) do COMAER, a definição de ocorrência aeronáutica é: “Qualquer evento envolvendo aeronave que poderá ser classificado como acidente aeronáutico, incidente aeronáutico grave ou incidente aeronáutico, permitindo ao SIPAER a adoção dos procedimentos pertinentes.”

3.1.2 Tipos de ocorrências aeronáuticas

O SIPAER, através do MCA 3-6 (BRASIL, 2017) do COMAER e de acordo com a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), subdividiu as ocorrências aeronáuticas de acordo com o primeiro evento que levou à sequência dos acontecimentos. Os principais tipos de ocorrência presentes na aviação agrícola estão conceituados conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Principais tipos de ocorrências aeronáuticas na aviação agrícola

TAXONOMIA SIPAER	DESCRIÇÃO
Perda de controle em voo	Ocorrência em que o piloto não mais controla a aeronave por falta de condições ou ineficácia da atuação dos comandos, no período entre a saída da aeronave do solo até o toque no pouso. Este tipo não inclui decolagem de planador rebocado nem helicóptero taxiando sem contato com o solo.
Perda de controle no solo	Ocorrência em que o piloto não mais controla a aeronave por falta de condições ou por ineficácia da atuação dos comandos, do momento em que a aeronave inicia o seu deslocamento por meios próprios até a sua saída do solo na decolagem, e do toque no pouso até a sua parada no estacionamento. Este tipo inclui decolagem de planador rebocado e helicóptero taxiando sem contato com o solo.
Manobras a baixa altura (Colisão em voo com obstáculo)	Ocorrência na qual a aeronave colide ou quase colide com o terreno (solo ou água) ou obstáculos durante operação realizada a baixa altura, como: pulverização, inspeção de linha, operações de helicóptero intencionalmente dentro do efeito solo (pairado, taxi, manobras em área restrita, etc.), voo de demonstração, busca e salvamento, etc.
Falha do motor em voo	Ocorrência em que há parada de motor, de reator ou redução inadvertida de potência de motor em voo. Este tipo não inclui os casos de interferência por fenômeno meteorológico, pane seca e danos causados por objetos estranhos (F.O.D.).

Fonte: (MCA 3-6, 2017, Adaptado)

De acordo com Li et al. (2001), a maioria das estatísticas de acidentes de aviação existentes hoje se concentra no transporte civil em geral. Os autores as consideram valiosas para evitar futuros acidentes, porém menos adequadas para voos que diferem no uso e na função primária. Doorn (2014) desenvolveu estudos de acidentes de balões, planadores e aviação esportiva e concluiu que os acidentes em cada segmento da aviação têm padrões e mecanismos

únicos, que devem levar a medidas preventivas específicas. Portanto, tal conclusão é aplicável também para a aviação agrícola.

As avaliações anteriores desses acidentes não se concentraram em detalhes nos mecanismos relacionados à aviação que explicam os acidentes, e sim em fatores relacionados ao armazenamento e manuseio de substâncias.

Doorn (2014) concretizou então, um estudo com tratamento estatístico dos dados de acidentes da aviação agrícola nos Estados Unidos em um período de 28 anos, obtendo a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Número total de acidentes por fase de voo

	Causas designadas						Ocorrências					
	Total do nº de acidentes		Erro humano		Motor/com-bustível		Pouso descontrolado/forçado		Perda de potência do motor		Colisão com um objeto	
Fases do voo	N	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Taxiamento e decolagem	573	17,6	269	5,9	38	1,1	140	4,1	152	4,9	95	3,1
Cruzeiro	100	3,5	31	0,9	22	0,6	98	2,9	72	2,6	16	0,7
Manobra / aplicação	1135	37,4	703	22,8	114	3,3	415	12,1	333	11,7	487	17,6
Aproximação e pouso	1042	33,1	387	9,2	246	7,2	667	19,5	517	18,6	118	6,6
Total	2750	100	1390	38,8	420	12,3	1320	38,6	1074	37,8	779	28

Fonte: (DOORN, 2014, Adaptado)

Através da Tabela 3.2, Doorn (2014) analisou os índices de acidentes em todas as fases de voo de acordo com as prováveis causas. Um ponto que chama muita atenção na tabela é o número total de acidentes causados pelo fator humano (1390) em comparação aos causados por avarias no motor ou falta de combustível (420), que se apresenta mais de três vezes menor. Esse fato nos remete ao cansaço físico e mental que a operação aeroagrícola exige dos pilotos.

Em seu estudo, Doorn (2014) concluiu que os acidentes da aviação agrícola caracterizam uma categoria específica, pois os locais dos acidentes de aplicação aérea divergem das estatísticas gerais de acidentes. Enquanto na aviação geral e comercial o maior número de acidentes concentra-se na fase de decolagem e pouso, nas ocorrências analisadas as fases de voo mais frequentes são as de manobras/aplicação aérea e pouso, e a maioria dos danos às aeronaves (38%) e mortes de pilotos (75%) ocorreram durante a fase de aplicação aérea do voo. Essa

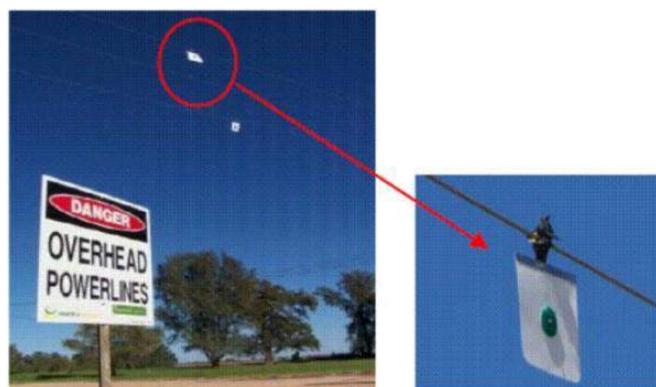
última conclusão leva ao fator colisão com objetos, e conseqüentemente leva ao erro humano, pois pode-se citar como contribuintes: observação visual inadequada, planejamento e tomada de decisão deficientes durante o voo e controle inadequado da aeronave (DOORN, 2014).

Durante os últimos anos, na aviação agrícola brasileira o erro humano contribuiu decisivamente com muitos acidentes e incidentes associados a comportamentos de autoconfiança excessiva, exibicionismo, cumprimento de violações e atos inseguros, improvisações e descumprimento do procedimento padrão. Este último, em particular, é notado significativamente na aviação agrícola, através da não utilização de manuais de operação de aeronaves pelos pilotos. Esse fator está afetando diretamente o julgamento dos pilotos sobre os perfis de voo a serem adotados e, principalmente, sobre o desempenho operacional que a aeronave é capaz (BRASIL, 2013).

Pesquisas realizadas pela organização Autoridade de Segurança da Aviação Civil (CASA) mostraram que, na Austrália, 75% dos acidentes e incidentes envolvendo colisões com fios ocorreram em linhas elétricas ou telefônicas que eram conhecidas anteriormente pelos pilotos (CASA, 2014).

O Manual do Piloto Agrícola, publicado pela Associação Agrícola Aérea da Austrália (AAAA, 2004), recomenda que “Se não houver nada para alertar o piloto sobre a presença de fios na área de aplicação, será muito fácil esquecer a presença desses obstáculos”. Assim, há o desenvolvimento de outra estratégia para auxiliar os pilotos a ver os fios: marcadores de linha de alta tensão. A Figura 3.3 mostra um exemplo de marcador simples e fácil de instalar, desenvolvido em conjunto pela Country Energy NSW (fornecedora de energia elétrica australiana) e pela Aerial Agricultural Association of Australia (FLIGHT SAFETY AUSTRALIA, 2006).

Figura 3.3 – Marcadores de fio de alta tensão



Fonte: (FLIGHT SAFETY AUSTRALIA, 2006)

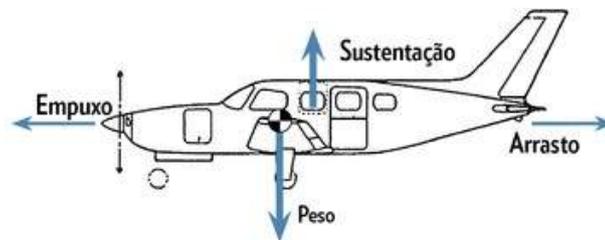
3.2 Fatores aerodinâmicos na pulverização aeroagrícola

Tratando-se especificamente de aeronaves agrícolas, existem fatores físicos e aerodinâmicos que devem ser explicitados devido a sua relevância nesse tipo de operação, sendo de grande importância para o embasamento deste trabalho.

3.2.1 Influência das forças aerodinâmicas na segurança da operação aeroagrícola

As forças aerodinâmicas atuam em corpos estáticos ou em movimento e influenciam diretamente na operação de voo das aeronaves agrícolas. Estas forças estão representadas na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Forças que agem no avião em voo



Fonte: (AERO MAGAZINE, 2014)

Segundo Saintive (2011), as forças que atuam durante o voo de uma aeronave são: Peso, Sustentação, Empuxo e Arrasto. Peso é a força vertical no sentido do centro da terra, exercida sobre todos os corpos dentro do seu campo gravitacional, já a sustentação é a força aerodinâmica gerada pelas asas da aeronave a fim de equilibrar o peso e prover o voo propriamente dito, sendo descrita pela Equação 3.1.

$$L = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_L \quad (3.1)$$

onde L é a Sustentação, ρ é a densidade do ar, V a velocidade da aeronave, S a área da asa e o C_L é o coeficiente de sustentação.

Portanto, são quatro os fatores que influenciam na força de sustentação de uma asa: o coeficiente de sustentação (ângulo de ataque, formato e perfil da asa), área de asa, densidade do ar e velocidade (HOMA, 2010).

Como visto na Equação 3.1 que rege a força de sustentação, a velocidade tem um papel muito importante, com o quadrado do seu valor na influência desta força aerodinâmica. Além

disso, o ângulo de ataque, que é o ângulo formado entre o eixo que divide uma asa (chamado de corda) e o vento relativo, também desempenham um papel importante na sustentação.

O arrasto é a força aerodinâmica que gera resistência ao avanço de um avião, tendendo a desacelerá-lo, enquanto o empuxo é a força produzida pelas hélices ou diretamente pelos motores para contrabalancear o arrasto e prover o movimento da aeronave.

Visando um melhor desempenho, os aviões são construídos num formato que apresenta o melhor “escoamento” do ar. Assim, na medida do possível elimina-se todo e qualquer componente na fuselagem que representa resistência ao deslocamento. Todavia, num avião agrícola isso se torna muito difícil, pois o equipamento agrícola exige um posicionamento tal que sua exposição provoca considerável arrasto (DRESCHER, 2012).

Para Saintive (2011) o arrasto total pode ser dividido em dois grupos básicos que são:

1. Arrasto parasita: resistência ao avanço que não está associada à produção de sustentação que teoricamente é equivalente a uma área plana em deslocamento perpendicular à direção de avanço da aeronave.
2. Arrasto induzido: “É um subproduto da sustentação, e sempre que existir sustentação também existirá arrasto induzido” (SAINTIVE, 2011, p.76).

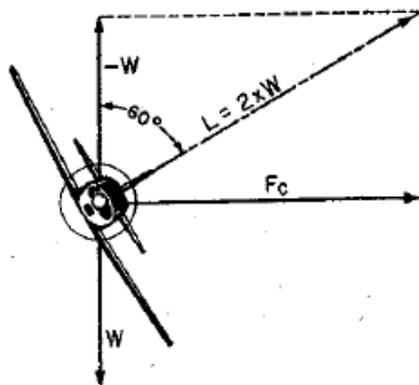
3.2.1.1 Considerações sobre o estol

As ocorrências de perda de controle em voo estão frequentemente associadas ao estol na operação aeroagrícola. Principalmente durante as curvas de reversão, subidas após a aplicação em uma faixa do cultivo, desvios de obstáculos, durante decolagem e também durante aproximação para pouso. Quando uma aeronave excede o ângulo de ataque além do ângulo de sustentação máxima, também chamado de ângulo crítico, ocorre uma rápida e abrupta queda na sustentação e conseqüente perda de altura. Este fenômeno é chamado de Estol (SAINTIVE, 2011) e pode ocorrer em qualquer fase do voo “[...] com diferentes velocidades (de acordo com o peso, fator de carga, etc.), porém sempre com o mesmo ângulo de ataque.” (SAINTIVE, 2011, p.65). Vale ressaltar que a velocidade de estol em uma curva é maior que em um voo em linha reta, pois como será discutida na próxima seção, em curva a sustentação precisa ser maior do que o peso com o intuito de gerar uma componente centrípeta.

3.2.1.2 Voo em curva

A etapa de curva da aeronave é complexa, pois quanto maior a sua inclinação, maior sustentação é necessária para manter a aeronave no ar e, conseqüentemente, maior a potência requerida. As forças atuantes nesta etapa são mostradas na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Teoria do voo em curva



Fonte: (HOMA, 2010)

De acordo com Drescher (2012), como regra geral, a curva de reversão só deve ser iniciada quando se tem altura para tanto e a velocidade seja suficiente para compensar a variação na sustentação. Para uma aeronave em curva, como indicado pela Figura 3.5, o peso é produzido pela gravidade (W) e a força resultante é a sustentação (L), provocada pelas asas. Nessa configuração, a sustentação se subdivide em duas forças diferentes: uma componente vertical, que contrabalança o peso ($F_w = -W$), e outra que atua lateralmente à aeronave, referenciada de força centrípeta (F_c). Observando a Figura 3.5, pode-se perceber que a sustentação resultante (L) é maior que a componente vertical (L_w). Por isso, a sustentação necessária para manter um avião voando em curva é maior que o peso deste, o que obriga o piloto a manter o manche cabrado (puxado) durante toda a curva e, caso seja necessário, imprimir maior potência ao voo. Pode-se observar na Figura 3.5, que ao atingir inclinação de 60 graus em uma curva, o valor de sustentação necessário se iguala a duas vezes a força peso.

Outro fator a ser considerado é que a velocidade de estol de uma aeronave também aumenta no voo em curva e será tanto maior quanto for o ângulo de inclinação (HOMA, 2010). Se o piloto estiver voando a velocidades próximas a de estol e executar uma curva, poderá ocorrer repentina queda de altitude e perda do controle da aeronave, o que é observado em diversas ocorrências de perda de controle por estol durante curvas de reversão na aplicação aérea. Observa-se, inclusive, ser comum entre os pilotos a prática de uma manobra não prevista,

conhecida como “*stall turn*”, que consiste em subir verticalmente e fazer uma curva no topo com velocidade muito baixa fazendo a recuperação na descida.

As curvas de reversão, também chamadas de balões, são as fases onde ocorre o maior índice de acidentes na operação aeroagrícola. Isso ocorre devido à complexidade da manobra, que exige elevada experiência do piloto e boa visibilidade para enxergar os possíveis obstáculos.

3.2.2 Influência das forças aerodinâmicas na qualidade da deposição do produto

3.2.2.1 Deriva

O fenômeno do arrasto induzido está diretamente relacionado ao perfil da aeronave e leva à formação de vórtices, fazendo com que as gotas sejam levadas a altitudes acima das que foram liberadas, aumentando assim o potencial de deslocamento horizontal e de evaporação do líquido. Uma demonstração desse fenômeno está na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Vórtices gerados na ponta de asa e pelo torque da hélice



Fonte: (ALVO, 2021)

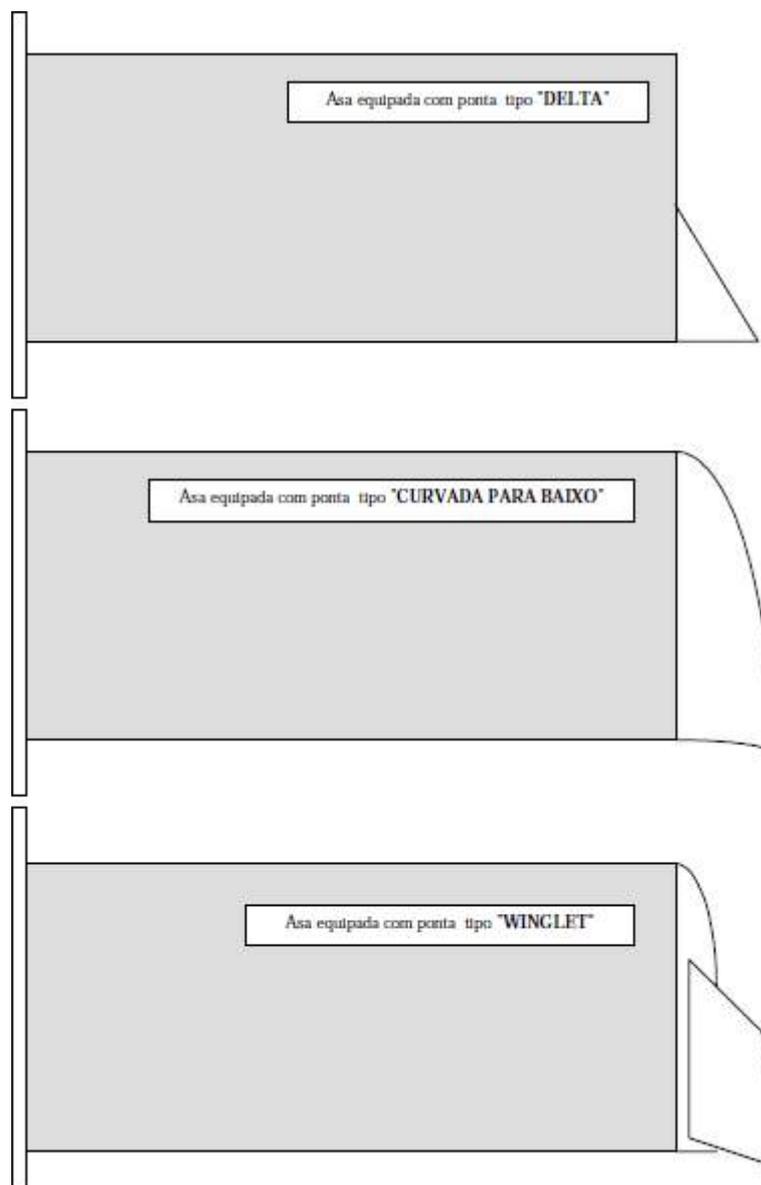
Visando reduzir a deriva provocada pelo arrasto, foram desenvolvidas algumas soluções pelos fabricantes, como a alteração no formato das pontas das asas para direcionar o escape do ar de forma mais conveniente, e adicionar *winglets* para que o ar tenha seu escoamento, da parte inferior (maior pressão) até a parte superior da asa, minimizado ou impedido.

Coimbra e Catalano (1999) desenvolveram um estudo para avaliação do vórtice produzido por diferentes configurações de pontas de asas, conforme a Figura 3.7, e obtiveram as seguintes conclusões:

1. A ponta de asa tipo ‘delta’ trouxe incrementos razoáveis nas características aerodinâmicas da asa, sem danos estruturais e bom posicionamento do vórtice para a aplicação agrícola.

2. A ponta de asa tipo '*winglet*' oferece melhores benefícios aerodinâmicos que a 'delta' e também melhor posicionamento do vórtice de ponta de asa em relação às três configurações testadas; entretanto, acarreta aumento no momento fletor da raiz da asa, que pode causar danos estruturais.
3. A ponta de asa 'curvada para baixo' apresentou o melhor desempenho aerodinâmico dentre as pontas ensaiadas, mas seu posicionamento do vórtice a torna inadequada para a operação agrícola.
4. Conclui-se, então, que a ponta de asa tipo 'delta' apresentou-se mais promissora conforme o melhor compromisso entre os requisitos necessários a um bom desempenho em um avião agrícola. Isso está representado na Figura 3.7, que mostra as vistas frontais das pontas de asas ensaiadas.

Figura 3.7 – Esquema dos modelos de pontas de asa ensaiados



Fonte: (COIMBRA; CATALANO, 1999)

Analisando a metodologia utilizada por Coimbra e Catalano (1999), pode-se observar que o vórtice foi avaliado somente através da turbulência gerada pelos equipamentos. O estudo não avaliou o resultado de deposição das gotas sobre superfícies, a qual pode ter relação direta com a turbulência. É necessário, porém, que sejam realizados os testes de deposição para que se possa afirmar tal fato.

3.2.2.2 Altura do voo

A altura do voo é outro fator de extrema relevância: quanto mais baixo o voo menor será a faixa de deposição do produto e mais concentrada será sua deposição. Normalmente

a altura de voo para aplicações de líquidos é de 2 a 4 metros. Numa aplicação de sólidos a altura varia entre 12 e 14 metros. Uma vez determinada uma altura de voo, esta deveria ser mantida constante. Contudo, obstáculos à frente ou o relevo irregular exigem manobras que, necessariamente, irão variar a altura do voo. Deste modo, muitas vezes são necessários arremates nas laterais desses pontos, visando uniformizar a aplicação (DRESCHER, 2012).

Drescher (2012) afirma que quanto maior for a altura de aplicação, maior a distância a ser percorrida pelas gotas e, portanto, maior o risco destas serem “arrastadas” para fora do alvo. Por outro lado, voar muito baixo também pode ser prejudicial pela maior turbulência provocada. Assim, levando-se em conta os fatores atmosféricos, o tamanho de gotas produzido e a velocidade do vento, existe sempre uma altura ideal de voo.

Um estudo realizado pela FAA (1991), Federal Aviation Administration, mostrou que devido ao efeito do solo, os voos agrícolas muito baixos (1 a 2 metros) produzem uma pior distribuição de produtos do que os vôos mais altos (3 metros). Os voos de teste permitiram ao piloto uma melhor visualização dos arredores e obstáculos, além de oferecer a ele a oportunidade de realizar correções de pequenas perdas de altura. A melhor altura para aplicações é aproximadamente metade da da aeronave, conforme mostra a Figura 3.8.

Figura 3.8 – Variação dos vórtices de ponta da asa



Fonte: (SIMÃO, 2010)

3.2.3 Influência das forças aerodinâmicas no custo da operação aeroagrícola

Diante dos fatores aerodinâmicos discutidos anteriormente, podem-se estabelecer relações dos mesmos com os custos associados à operação aeroagrícola: a distância percorrida, que altera o tempo gasto na pulverização e consequentemente o combustível gasto, são diretamente afetados pelo raio de curvatura de um “balão” durante a pulverização, e pelo número de balões necessários. Entretanto, a redução desse raio envolve a aplicação de maior potência, conforme explicitado, e assim maior consumo de combustível pela aeronave. Além disso, o arrasto associado e a qualidade da deposição do produto também afetam diretamente nos custos da pulverização aérea, provando portanto a importância do estudo dos fatores aerodinâmicos nesse tipo de operação.

3.3 Veículos Aéreos Não Tripulados

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) publicou o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-e nº 94), em 2017, no qual são estabelecidos os requisitos gerais para veículos aéreos não tripulados (VANT) e aeromodelos. A ANAC definiu que todo VANT é um “aeromodelo capaz de sustentar-se e circular no espaço aéreo mediante reações aerodinâmicas”. Ela também determinou que os VANTs podem ser definidos como “Remotely Piloted Aircraft” (RPA), que representa o VANT destinado à operação remotamente pilotada.

Os RPAs são classificados de acordo com o seus respectivos peso máximo de decolagem (PMD) e são divididos em três classes: a classe 1 corresponde o RPA com PMD maior que 150 kg; a classe 2 representa os RPAs com PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg e a classe 3, corresponde os RPAs com PMD menor ou igual a 25 kg (ANAC, 2015).

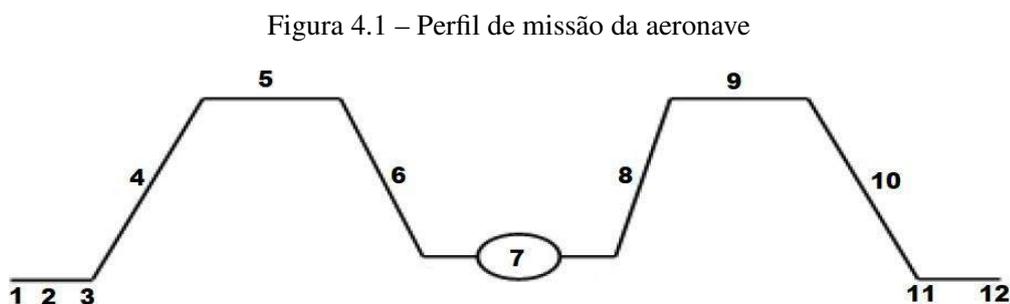
Bete e Conti (2018), dizem que a tecnologia do VANT perante a sociedade vem ganhando condições de confiabilidade e de credibilidade em sua aplicação, e o setor agrícola segue a mesma premissa, já que a ideia de se ganhar tempo, praticidade e benefícios é o que todos desejam em seus respectivos negócios.

4 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

O presente capítulo pretende referenciar o perfil de missão de uma aeronave agrícola, a formulação matemática das fases de voo, os custos envolvidos no processo de pulverização aeroagrícola e finalmente os modelos de aeronaves agrícolas utilizados no trabalho.

4.1 Perfil de missão

O cálculo da produtividade de uma aeronave durante a missão de aplicação aérea é composto pelo somatório do tempo operacional gasto em todas as fases necessárias para concluir a aplicação em uma determinada área, as quais consistem em etapas em solo e em voo, e podem ser descritas conforme a Figura 4.1 como:



Fases:

1. Abastecimento de combustível e carregamento de produto;
2. Taxiamento para decolagem;
3. Decolagem;
4. Subida para altitude de cruzeiro
5. Voo de cruzeiro em translado para o local da aplicação;
6. Descida para aplicação;
7. Aplicação/pulverização;
8. Subida para altitude de cruzeiro;
9. Voo de cruzeiro em retorno para a base;

10. Descida para pouso;
11. Pouso;
12. Taxiamento para reabastecimento/carregamento de produto.

Após a fase 12, o processo é reiniciado a partir da fase 1 e é feito quantas vezes forem necessárias até finalizar a aplicação em toda a área desejada.

4.2 Formulação Matemática das Fases de Voo

A fim de se entender o que acontece em cada fase do perfil de missão, é necessário identificar as variáveis, parâmetros envolvidos e as equações de desempenho relacionadas, que possibilitam obter o tempo gasto.

4.2.1 Abastecimento de combustível e de produto a ser aplicado

O tempo de abastecimento de combustível e carregamento de produtos é descrito pela Equação 4.1. Para as aeronaves tripuladas é feito de acordo com a capacidade do tanque de combustível e capacidade do *hopper* (reservatório de produto), sendo observadas as limitações de peso e balanceamento de cada aeronave. Para o VANT considera-se essa equação apenas para o abastecimento de produto, pelo fato de possuir motores elétricos, e poder ter suas baterias trocadas durante o tempo de abastecimento de produtos.

$$T_{abast} = \frac{V_{tanque}}{vazao_{Bomba}} \quad (4.1)$$

em que T_{abast} representa o tempo total de abastecimento, V_{tanque} é o volume do tanque de combustível ou de produtos (*Hopper*), e $vazao_{bomba}$ representa a vazão da motobomba utilizada.

4.2.2 Taxiamento

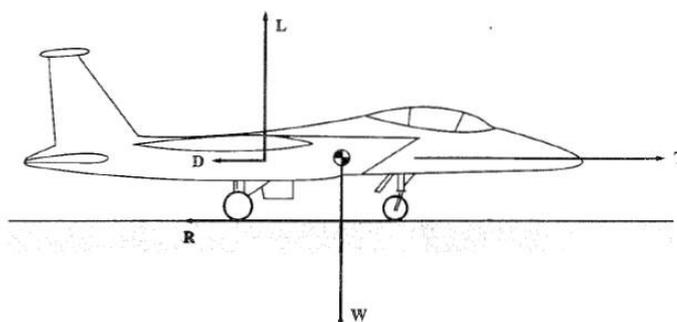
Deslocamento da aeronave por seus próprios meios na superfície terrestre, exceto quando pousando ou decolando (ABNT, 2011).

4.2.3 Decolagem

A decolagem é definida pelo ato de iniciar um voo em que um avião é acelerado a partir de um estado de repouso até aquele estado de voo normal. Num sentido mais restrito, é o

rompimento final de contato da aeronave com o solo, água, convés ou catapulta (ANTAS, 1979). As forças atuantes na aeronave durante o pouso e a decolagem são apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Forças atuantes na aeronave durante o pouso e a decolagem



Fonte: (ANDERSON, 1999)

Na Figura 4.2, a letra L representa a força de sustentação, W representa a força peso, T o empuxo, que varia de acordo com a velocidade, D representa a força de arrasto, que é contrária ao movimento e R representa a força de resistência ao rolamento, que tem origem com a deformação do solo. Todas as forças citadas são dadas em Newtons [N], sendo R dado pela Equação 4.2.

$$R = \mu_r \cdot (W - L) \quad (4.2)$$

onde μ_r é o coeficiente de atrito de rolamento e o segundo termo da equação ($W - L$) é a força normal líquida exercida entre os pneus e o solo.

O atrito existente da interação pneus-pista pode ser calculado pelo tipo de superfície e, de acordo com a Tabela 4.1 (ANDERSON, 1999), que apresenta valores típicos para cada tipo de pista, e considerando que a operação aeroagrícola ocorre frequentemente em pistas de terra, o valor assumido foi 0,05.

Tabela 4.1 – Valores típicos de coeficiente de atrito para diferentes tipos de pista

Superfície	μ_r (Valores típicos)	
	Sem uso de freios	Com uso de freios
Concreto seco/asfalto	0.03-0.05	0.3-0.5
Concreto molhado/asfalto	0.05	0.15-0.3
Concreto com gelo/asfalto	0.02	0.06-0.10
Gramma firme	0.05	0.4
Terra batida	0.04	0.3
Gramma macia	0.07	0.2
Gramma molhada	0.08	0.2

Fonte: (ANDERSON, 1999, Adaptado)

Na etapa de decolagem a aeronave parte do repouso, acelerando até atingir uma velocidade mínima de segurança para o voo, que é um pouco maior do que a velocidade de estol da aeronave. O desempenho de uma aeronave na decolagem é caracterizado pelas velocidades críticas e distância percorrida na decolagem.

Desprezando-se a inclinação da pista e partindo do repouso, a aceleração da aeronave na corrida de decolagem pode ser conhecida aplicando a 2ª Lei de Newton nos eixos horizontal e vertical, utilizando as forças atuantes conforme a Figura 4.2, obtendo então a Equação 4.3 (ANDERSON, 1999).

$$m \frac{dV_\infty}{dt} = T - D - \mu_r \cdot (W - L) \quad (4.3)$$

Para uma aeronave cuja motorização é o conjunto convencional motor/hélice, sabe-se que na Equação 4.3 o empuxo não é constante. Sendo assim, este está em função da velocidade, conforme as Equações 4.4 e 4.5, onde P representa a potência.

$$P = TV_\infty \quad (4.4)$$

$$T = \frac{const}{V_\infty} \quad (4.5)$$

Para a sustentação e o arrasto, a pressão dinâmica é multiplicada pela área planiforme da asa e multiplicada pelos seus respectivos coeficientes, dados por (ANDERSON, 1999):

$$D = \frac{1}{2}\rho_{\infty}V_{\infty}^2SC_D \quad (4.6)$$

$$L = \frac{1}{2}\rho_{\infty}V_{\infty}^2SC_L \quad (4.7)$$

Sendo:

$$C_L = 2W(\rho_{\infty}V_{\infty}^2S)^{-1} \quad (4.8)$$

$$C_D = C_{D,o} + C_{D,i} \quad (4.9)$$

onde:

C_D = coeficiente de arrasto total.

Ressalta-se que o arrasto tem dois componentes. O primeiro é o arrasto parasita, que é resultante da resistência imposta pelas moléculas de ar e independe da sustentação, representado por C_{D0} . O outro componente é o arrasto induzido, que está diretamente relacionado às partes do avião que produzem sustentação e depende de C_L .

$$C_{D,i} = KC_L^2 \quad (4.10)$$

em que K = parâmetro aerodinâmico condensado;

O coeficiente de arrasto de sustentação zero (C_{d0}) pode ser encontrado através da Tabela 4.2. (RAYMER, 1992)

Tabela 4.2 – Coeficientes de arrasto de sustentação zero (C_{d0})

Bombardeiro e aeronave de transporte civil	0.0030
Aeronave militar de carga	0.0035
Caça da força aérea	0.0035
Caça da marinha	0.0040
Aeronave de cruzeiro supersônico	0.0025
Monomotor leve	0.0055
Bimotor leve	0.0045
Hidroavião Turbo-hélice	0.0065
Hidroavião à jato	0.0040

Fonte: (RAYMER, 1992, Adaptado)

De acordo com Anderson (1999), a velocidade de decolagem (“*lift off*”) (V_{Lo}), que representa a velocidade aerodinâmica mínima para voo nivelado equilibrado na altitude de decolagem, deve ser pelo menos 20% maior do que a velocidade de estol da aeronave (V_{stall}).

$$V_{Lo} = 1,2 \cdot V_{stall} \quad (4.11)$$

Analisando a corrida de decolagem, considerando s como a distância percorrida no solo, tem-se:

$$ds = \frac{ds}{dt} dt = V_{\infty} dt = V_{\infty} \frac{dt}{dV_{\infty}} dV_{\infty} = \frac{V_{\infty} dV_{\infty}}{dV_{\infty}/dt} = \frac{d(V_{\infty}^2)}{2(dV_{\infty}/dt)} \quad (4.12)$$

Inserindo a Equação 4.3 na 4.12, tem-se:

$$\frac{dV_{\infty}}{dt} = \frac{1}{m} [T - d - \mu_r(W - L)] \quad (4.13)$$

O tempo gasto durante a decolagem pode ser obtido integrando por partes que foi dividida em 100 intervalos de velocidade, desde zero até a velocidade final pela Equação 4.13 via rotina computacional, utilizando V_{Lo} e substituindo demais parâmetros.

O tempo total na decolagem é definido como tempo gasto até a aeronave atingir a velocidade de decolagem acrescido de 2 segundos, devido ao tempo de transição até o ângulo de subida, de acordo como estabelecido pela (ANAC, 2015).

O consumo de combustível durante a decolagem pode ser obtido através da equação:

$$Consumo_{decolagem} = C_{especifico} \cdot Potência \cdot Tempo_{decolagem} \quad (4.14)$$

Sendo o consumo específico tabelado conforme Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Valores típicos de consumo específico para tipos variados de motores

Tipo do motor	Consumo específico	Unidade
Turboprop	0.5 - 0.8	lb/h/hp
Pistão (passo fixo)	0.4 - 0.8	lb/h/hp
Pistão (passo variável)	0.4 - 0.8	lb/h/hp

Fonte: (RAYMER, 1992, Adaptado)

Como as aeronaves analisadas se enquadram no tipo de motor a Pistão e Turbo-Hélice, o valor de consumo específico utilizado foi de 0,5 lb/h/hp, que equivale a 375 kg/kW/h, no sistema internacional (SI).

O peso da aeronave após esta etapa ($W_{decolagem}$) pode ser definido por:

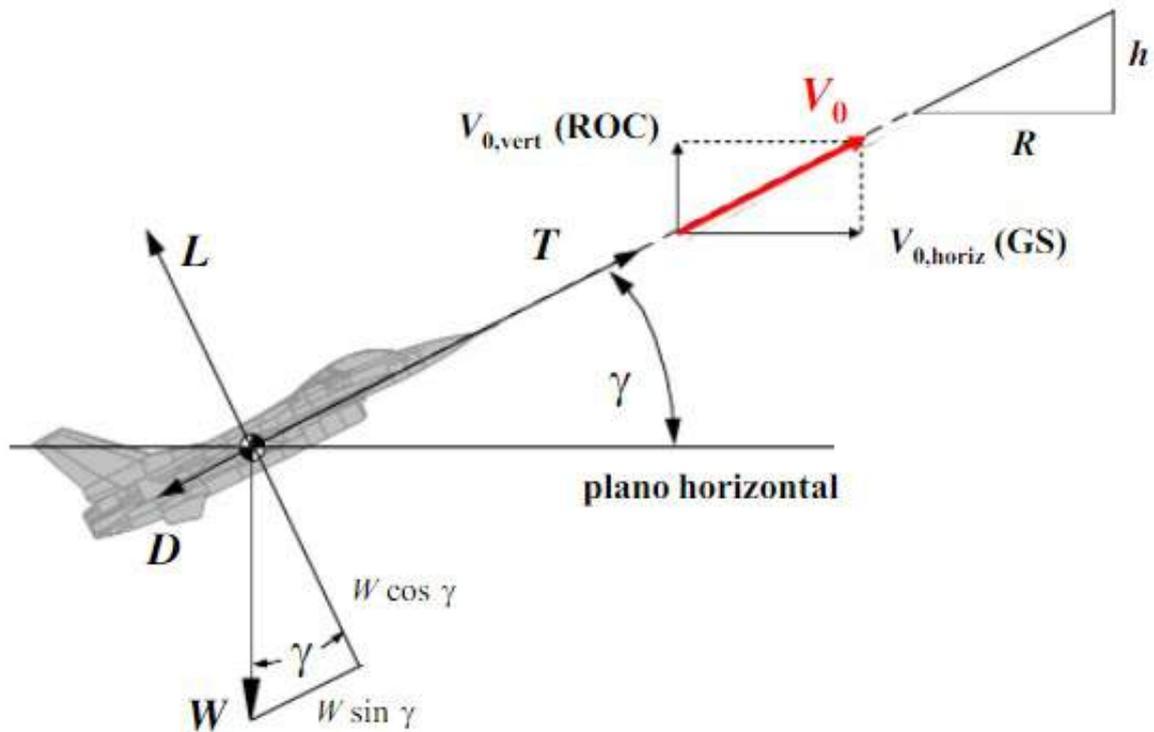
$$W_{decolagem} = (0,99) \cdot (0,995) \cdot W_0 - Consumo_{decolagem} \quad (4.15)$$

Os fatores de correção de 0,99 e 0,995 multiplicando o peso inicial da aeronave, referem-se ao momento entre a partida do motor e início de taxiamento e o momento do taxiamento até a cabeceira da pista, conforme (ROSKAM, 1985).

4.2.4 Subida

As forças atuantes na etapa de subida de uma aeronave estão identificadas na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Desempenho em voo ascendente



Fonte: (VENSON, 2013)

A razão máxima de subida da aeronave (do inglês, *rate of climb*) é dada por Anderson (1999):

$$(R/C)_{max} = \frac{\eta_{pr} P}{W} - \frac{2}{p_{\infty}} \sqrt{\frac{K}{3C_{D,0}}} \left(\frac{W}{S}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{1,155}{(L/D)_{max}} \quad (4.16)$$

onde η_{pr} é a eficiência da hélice, considerada por Anderson (1999) como tipicamente 0,8, e $(L/D)_{max}$ pode ser obtido da Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Valores típicos de $(L/D)_{max}$

Categoria da Aeronave	$(L/D)_{max}$
Ultraleve	8-15
Aviação Geral	10-15
Transporte a Jato	12-20
Planador	20-35

Fonte: (SADRAEY, 2012)

Devido ao fato de não terem sido encontrados na literatura valores de $(L/D)_{max}$ específicos e padronizados para aeronaves agrícolas, considerou-se a categoria de aviação geral da Tabela 4.4, pela similaridade de geometria, aerodinâmica e performance, adotando porém o limite inferior, de 10, devido às aeronaves agrícolas contarem com equipamento de pulverização acoplados, o que acaba prejudicando aerodinamicamente.

Sabe-se que a razão de subida é a variação da altitude em relação ao tempo, logo tem-se:

$$\frac{dh}{dt} = R/C \quad (4.17)$$

$$dt = \frac{dh}{R/C} \quad (4.18)$$

Assim, o tempo gasto na subida pode ser obtido integrando-se a Equação 4.18 entre duas altitudes, h_1 e h_2 :

$$t = \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{R/C} \quad (4.19)$$

Se substituirmos na Equação 4.19 a razão máxima de subida encontrada através da Equação 4.16, tem-se então o tempo mínimo de subida necessário.

O consumo de combustível durante a subida pode ser encontrado pela Equação 4.20.

$$Consumo_{subida} = C_{especifico} \cdot Potência \cdot Tempo_{subida} \quad (4.20)$$

sendo a potência utilizada durante a subida considerada como a máxima disponível, assim como na decolagem.

O peso da aeronave após esta etapa ($W_{cruzeiro}$) pode ser definido por:

$$W_{cruzeiro} = W_{subida} - Consumo_{subida} \quad (4.21)$$

4.2.5 Voo de translado

No voo de translado, a aeronave voa em regime de cruzeiro, sendo este nivelado, com altitude e velocidade constantes, percorrendo uma certa distância horizontal entre dois pontos. Nesta fase há o equilíbrio das forças externas sobre a aeronave, sendo tração igual ao arrasto e sustentação igual ao peso.

Como a velocidade é constante, obtém-se o tempo através das razões entre a distância percorrida em linha reta e em possíveis curvas e suas respectivas velocidades.

$$Tempo_{cruzeiro} = \frac{D_{reta}}{V_{cruzeiro}} + \frac{D_{curvas}}{V_{curvas}} \quad (4.22)$$

O consumo de combustível durante o voo de cruzeiro em translado pode ser encontrado pela Equação 4.23, onde $T_{cruzeiro}$ é o empuxo da aeronave em cruzeiro, ou o arrasto da mesma, devido ao equilíbrio de momento.

$$Consumo_{cruzeiro} = C_{especifico} \cdot T_{cruzeiro} \cdot Tempo_{cruzeiro} \quad (4.23)$$

O peso da aeronave após esta etapa ($W_{descida}$) pode ser definido por:

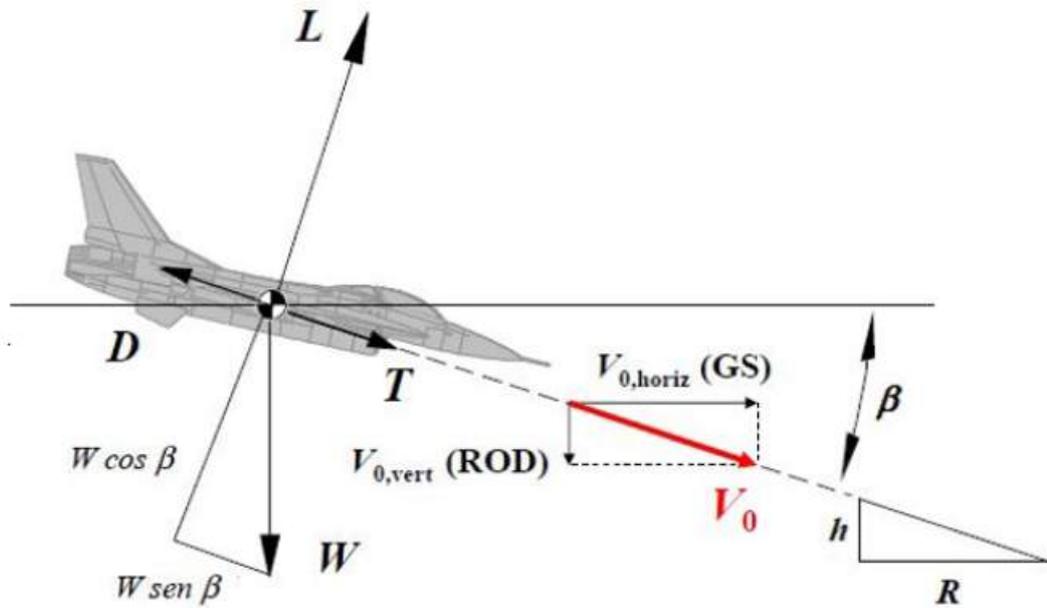
$$W_{descida} = W_{cruzeiro} - Consumo_{cruzeiro} \quad (4.24)$$

4.2.6 Descida

A etapa de descida corresponde a um voo descendente propulsionado, com o motor produzindo pouco empuxo, a fim de a aeronave perder altitude.

O ângulo formado entre a direção de voo e o plano horizontal é chamado de ângulo de descida (β). Analogamente ao voo de subida, as distâncias vertical (h) e horizontal (R), assim como as componentes da velocidade, a velocidade em relação ao solo (GS) e a razão de descida, no inglês "*rate of descent*" (ROD), podem ser quantificadas por este ângulo, conforme Figura 4.4.

Figura 4.4 – Esquema simplificado do equilíbrio no voo descendente propulsionado



Fonte: (VENSON, 2013)

Com o ângulo de descida (β) da aeronave, pode-se obter uma relação entre a razão de descida (ROD) e velocidade de voo da aeronave em descida (V_0).

$$\beta = \arcsin\left(\frac{ROD}{V_0}\right) \quad (4.25)$$

O tempo gasto durante a descida é a razão entre a variação de altitude da aeronave e a razão de descida (ROC), e pode ser obtido por uma integral análoga à utilizada para o tempo de subida.

$$t = \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{ROC} \quad (4.26)$$

De posse do tempo gasto, consumo específico de combustível e da força de arrasto da aeronave na descida, pode-se determinar o combustível gasto na descida, e o peso da aeronave após a descida ($W_{aplicação}$), conforme as Equações 4.27 e 4.28

$$Consumo_{descida} = C_{especifico} \cdot D_{descida} \cdot Tempo_{descida} \quad (4.27)$$

$$W_{aplicação} = W_{descida} - Consumo_{descida} \quad (4.28)$$

4.2.7 Aplicação

Nesta fase ocorrem as passadas para a aplicação do produto fitossanitário na área, juntamente com as curvas de retorno, também chamadas de curvas de reversão ou balões. As variáveis necessárias para o cálculo do tempo gasto são apresentadas e explicadas em seguida:

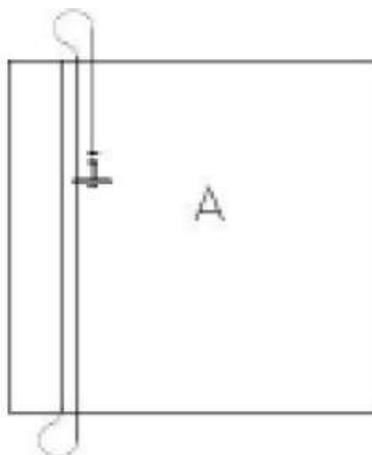
- área a ser pulverizada;
- largura da faixa de aplicação, que varia conforme aeronave ou cultura;
- número de passadas, dado por:

$$n = \frac{\text{área a ser pulverizada}}{\text{largura da faixa de aplicação}} \quad (4.29)$$

- número de curvas de reversão, sendo igual ao número de passadas;
- raio mínimo da curva;
- velocidade durante a curva;
- distância percorrida durante a curva.

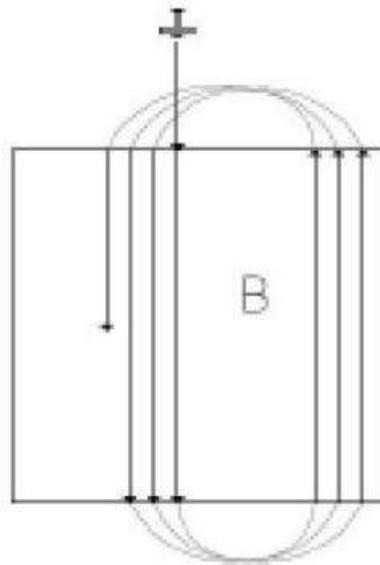
As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam dois tipos de curvas de retorno: o primeiro tipo é a curva clássica, o “*Back-to-Back*” e o segundo tipo é “*Racetrack*” ou fechado.

Figura 4.5 – Curva clássica (balão)



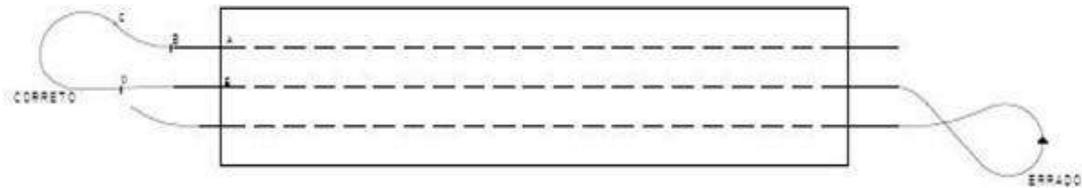
Fonte: (HOMA, 2010, Adaptado)

Figura 4.6 – Racetrack



Fonte: (HOMA, 2010, Adaptado)

Figura 4.7 – Forma Correta da curva de reversão



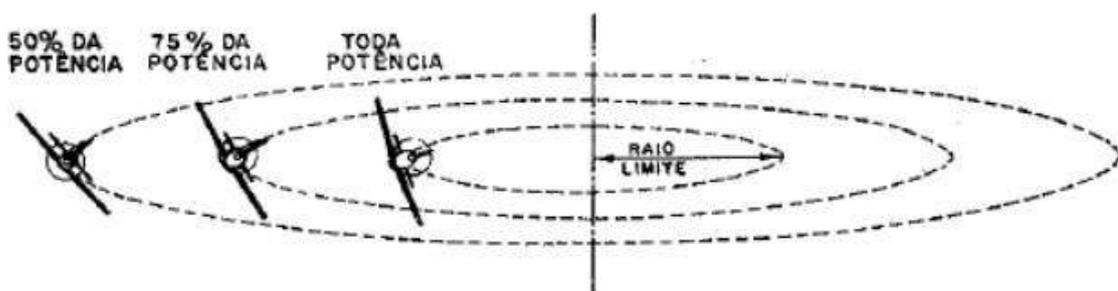
Fonte: (RASI, 2008)

4.2.7.1 Raio Limite

Para voar em curva, o piloto deverá aumentar a sustentação do avião. Com isso, ele aumentará também o arrasto. Esse é o motivo pelo qual a potência deve ser aumentada à medida que o raio diminui.

O menor raio possível é chamado de raio limite, para o qual a potência aplicada é máxima.

Figura 4.8 – Forma Correta da curva de reversão



Fonte: (HOMA, 2010)

A fim de se obter um bom desempenho durante a realização da curva, é necessário, principalmente para as aeronaves agrícolas, que possuam condições de realizar a manobra com o menor raio de curvatura possível, pois desse modo pode-se realizar a curva com grande inclinação de asas sem que ocorra o estol.

De acordo com Anderson (1999) tem-se o raio mínimo dado por:

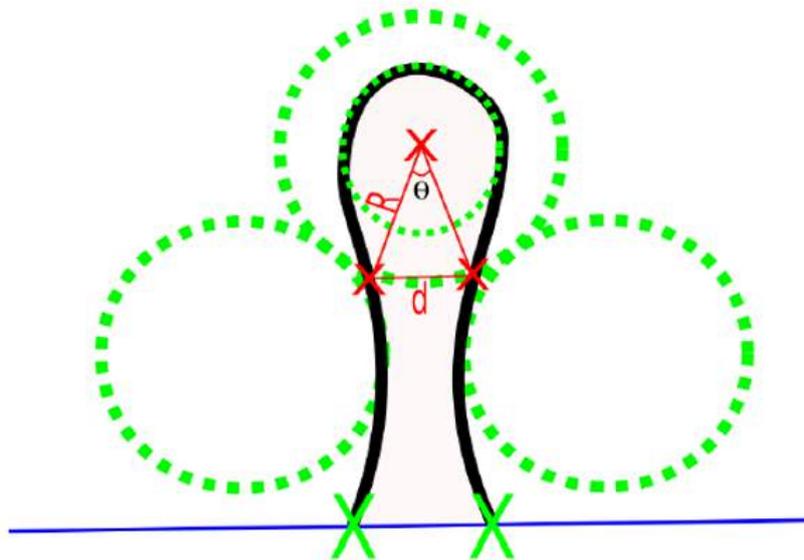
$$R_{min} = \frac{4K(W/S)}{g\rho_{\infty}(T/W)\sqrt{1 - 4KC_{D,0}/(T/W)^2}} \quad (4.30)$$

A velocidade correspondente ao raio mínimo é dada por:

$$(V_{\infty})_{R_{min}} = \sqrt{\frac{4K(W/S)}{\rho_{\infty}(T/W)}} \quad (4.31)$$

Para determinar a distância percorrida ao se executar a curva, o tipo de manobra de retorno escolhido foi o *Omega-turn*, conforme a Figura 4.9. Este tipo de manobra é comumente utilizado em trajetórias *Back to back*, onde a distância de retorno "d", é menor que duas vezes o raio de curvatura da aeronave.

Figura 4.9 – Manobra *Omega-Turn*



Fonte: (SABELHAUS et al., 2013, Adaptado)

A distância percorrida ao se executar a manobra Omega-Turn é mostrada pela Equação 4.32.

$$D_{Omega-Turn} = 2 \cdot \Pi \cdot R \cdot \left(\frac{360 - 2 \cdot \theta}{360} \right) \quad (4.32)$$

Onde o θ é dado pela Equação 4.33.

$$\theta = \arcsin\left(\frac{d}{2 \cdot R}\right) \quad (4.33)$$

Para se obter o tempo gasto durante a aplicação, tem-se:

$$Tempo_{aplicação} = n_{passadas} \cdot \left(\frac{D_{retas}}{V_{aplicação}} + \frac{D_{curvas}}{V_{Rmin}} \right) \quad (4.34)$$

O consumo de combustível na etapa e o peso restante são dados pelas Equações 4.35 e 4.36, onde $T_{aplicação}$ corresponde ao empuxo nessa fase.

$$Consumo_{aplicação} = C_{especifico} \cdot T_{aplicação} \cdot Tempo_{aplicação} \quad (4.35)$$

$$W_{restante} = W_{aplicação} - Consumo_{descida} - V_{produto\ gasto} \quad (4.36)$$

4.2.8 Pouso

Durante o pouso ocorre a redução de velocidade da aeronave em solo, a partir de uma velocidade de aproximação em voo, até a parada completa da aeronave. A formulação matemática para o pouso pode ser considerada semelhante à da decolagem, de forma inversa, desacelerando desde a velocidade de *flare*, até o repouso, podendo assim ser encontrado o tempo gasto.

A velocidade de *flare* (flutuação, V_f) é dada por (ANDERSON, 1999):

$$V_f = 1,3 \cdot V_{stall} \quad (4.37)$$

O atrito entre a pista e os pneus passará a ser 0,4 de acordo com a Tabela 4.1 apresentada na subseção de Decolagem, devido a atuação dos freios.

De acordo com Raymer (1992), um fator de correção para o peso pode ser utilizado para representar o processo de aterrissagem e taxiamento da aeronave, conforme a Equação 4.38.

$$W_{final} = 0.992 \cdot W_{pouso} \quad (4.38)$$

Onde W_{pouso} é o peso da aeronave antes do processo de aterrissagem e W_{final} é o peso da aeronave após a operação de taxiamento e desligamento dos motores.

4.3 Custos envolvidos no processo de pulverização aeroagrícola

Devido às peculiaridades envolvidas na pulverização aeroagrícola, é muito complexo determinar com precisão os custos da operação. Por isso, cada empresa estipula os custos operacionais de maneiras diferentes.

De acordo com Viceconti e Neves (2010), custos fixos são todos aqueles cujos valores se mantêm inalterados independente do valor da produção, inclusive no caso da empresa nada produzir. Tais autores ainda alertam para o fato de que os valores dos custos fixos podem sofrer variações com o decorrer do tempo; por isso é imprescindível associá-los ao nível da produção, uma vez que independente deste nível, sua quantidade será fixa. Estes são compostos pelos juros, amortização do custo da aeronave, seguros, despesas burocráticas, salário fixo do piloto e depreciação do bem. A maioria destes fatores é calculada em função do valor inicial de compra da aeronave. Por isso, geralmente os custos fixos são mais altos em relação ao custo total da operação.

Por outro lado, os custos variáveis estão diretamente relacionados com o nível de produção obtido. Segundo Nascimento (2001, p.27), “custo variável é o que, a qualquer variação de quantidade produzida ou vendida, acompanha essa mesma variação, exemplo, matéria prima, mão-de-obra direta variável, comissão sobre vendas, ICMS e fretes”. Além desses, podem ser acrescentados os gastos com combustível e manutenção da aeronave (lubrificantes e reposição de peças).

A fim de facilitar o entendimento das despesas operacionais, utilizou-se como base nesse trabalho para a formação dos custos, uma pesquisa realizada pelo SINDAG (Sindicato Nacional das Empresas Agrícolas), que teve como pesquisador responsável o Dr. Cristian Foguesatto. Neste estudo, realizado no ano de 2020, vários empresários forneceram seus dados de forma anônima e não se fez uma divisão entre custos fixos e variáveis. Além disso, para diminuir o nível de detalhamento na gestão de custos, a depreciação foi contabilizada levando em conta apenas a aeronave, embora sabe-se que todos os equipamentos sofrem depreciação com o tempo de uso, como computadores, celulares, GPS, automóveis da empresa, entre outros. Para o presente trabalho, utiliza-se como referência os valores de custos divulgados pela pesquisa, na qual a cana-de-açúcar é a cultura analisada. A Tabela 4.5 evidencia os parâmetros adotados e serve como referência comparativa com os resultados obtidos neste trabalho.

Tabela 4.5 – Formação dos custos conforme pesquisa do SINDAG

Tipo de aeronave	Ipanema 202	Thrush 510P	Air Tractor 502
Cultura pulverizada	Cana-de-açúcar		
Informações gerais da prestação de serviços			
Tipo de produto aplicado	Líquido	Líquido	Líquido
Valor estimado da aeronave (R\$)	1.650.000	4.500.000	4.000.000
Rendimento (hectares/hora)	62	125	122
Preço do litro do óleo do motor (R\$)	49	140	150
Litros de combustível por hora (L)	105	220	221
Preço cobrado por hectare a uma vazão de 4 L/ha (R\$)	27,60	-	-
Preço cobrado por hectare a uma vazão de 15 L/ha (R\$)	38,95	-	-
Preço cobrado por hectare a uma vazão de 40 L/ha (R\$)	48,69	-	-
Despesas em geral por hectare			
Custo de óleo do motor (R\$/hectare)	0,79	0,03	0,01
Impostos em geral (R\$)	3,90	5,54	5,00
Seguros em geral (R\$)	1,14	2,90	1,10
Depreciação da aeronave (5% ao ano) (R\$)	2,66	7,26	6,45

Fonte: (SINDAG, 2021, Adaptado)

4.4 Modelos de aeronaves agrícolas

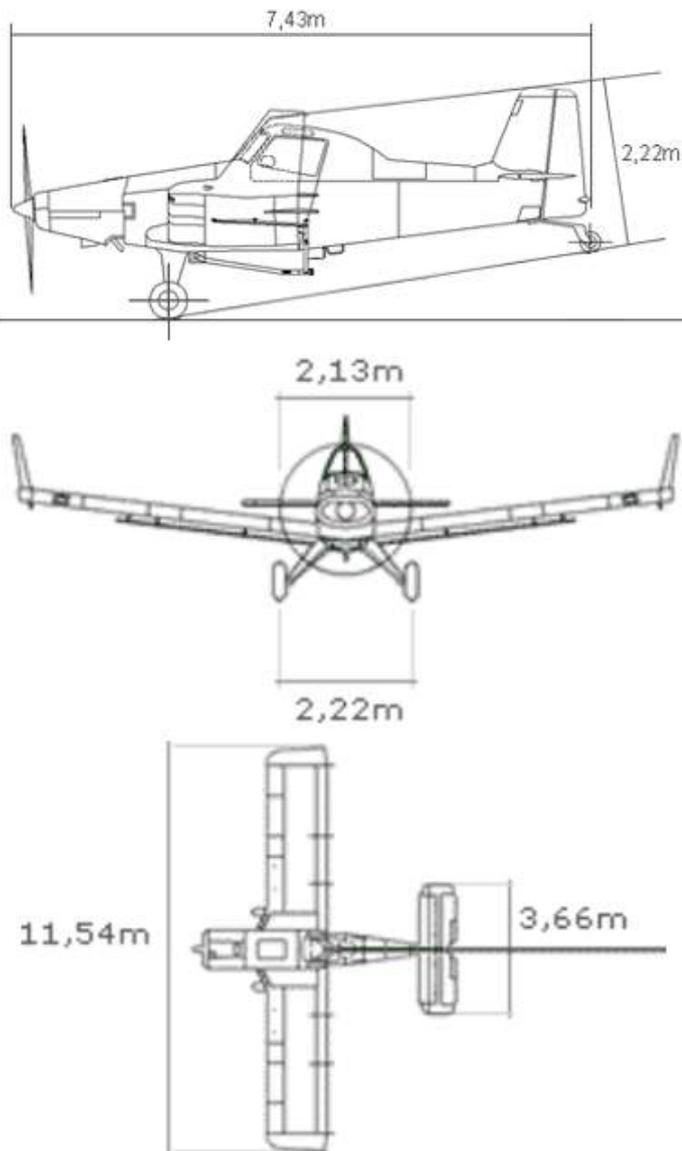
4.4.1 Ipanema 202A

A aeronave Ipanema 202A é tripulada, monomotora e fabricada pela unidade da Embraer em Botucatu, SP. Este modelo foi certificado em 2004 e é a primeira aeronave produzida em série no mundo movida a etanol, mesmo combustível usado em automóveis, e além disso possui fuselagem montada sobre asas baixas e apresenta trem de pouso convencional que pode ser operado em pistas pavimentadas ou não.

As principais culturas que utilizam este avião são eucalipto, milho, algodão, cana-de-açúcar, café, soja, arroz e citrus.

As vistas e dimensões desta aeronave estão representadas na Figura 4.10.

Figura 4.10 – Vistas e dimensões do Ipanema 202A



Fonte: (AEROESCOLINHA, 2011)

A ficha técnica da aeronave Ipanema 202A é apresentada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Ficha técnica do Ipanema 202A

Motor (etanol)	Lycoming 2700 RPM, 320 HP
Consumo de combustível	98 litros/hora
Comprimento total da aeronave	7,43 metros
Envergadura	11,54 metros
Área da asa	19,94 metros quadrados
Capacidade de combustível utilizável	264 litros
Volume máximo do hopper	950 litros
Capacidade de pulverização	130 hectares/hora de aplicação
Velocidade de cruzeiro (75% de potência)	213 km/h
Velocidade de Estol	92 km/h
Peso máximo de decolagem	1.800 kg

Fonte: (EMBRAER, 2021, Adaptado)

Figura 4.11 – Aeronave Ipanema 202A



Fonte: (JETPHOTOS, 2019)

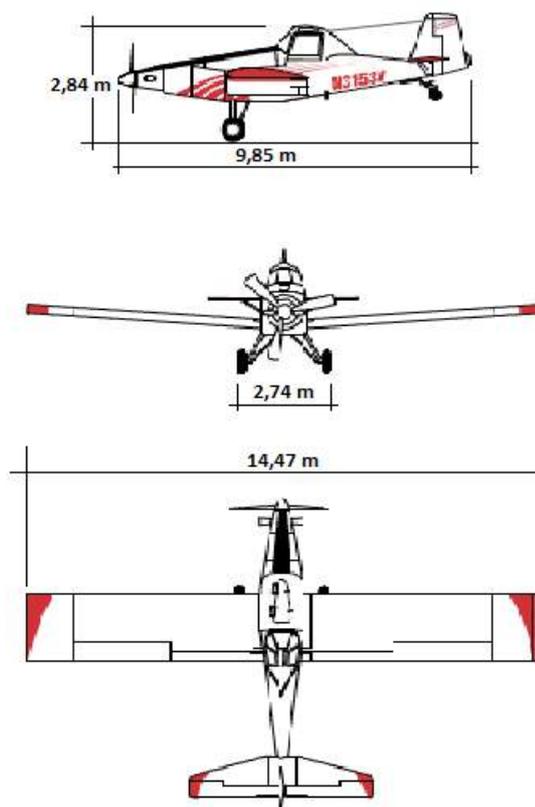
4.4.2 Thrush 510P

Segundo a empresa Thrush Aircrafts, a aeronave tripulada Thrush 510P apresenta potência excepcional para decolagens e subidas, voa com carga máxima e realiza a pulverização agrícola com padrões de deposição elevados. Ainda de acordo com a Thrush, isso ocorre porque todos os modelos de aviões que são fabricados pela empresa tem uma grande área alar,

resultando em menor carga alar e melhores qualidades de manejo, projetadas especificamente para otimizar o processo e aumentar a segurança para os pilotos.

Conforme é informado no site do fabricante dessa aeronave, todas as suas células, berços de motor e trens de pouso são pintados eletrostaticamente para garantir proteção superior contra umidade e produtos químicos e para resistir a desbotamento, rachaduras e arranhões. Tratam todas as peças em alumínio que produzem com uma camada de fundo em cromato com Alodine®. As fuselagens e as cabines são projetadas para resistir a impactos com fortes desacelerações e a pilonagens. E eles se certificam de que todos os sistemas principais sejam facilmente acessíveis para manutenções de rotina.

Figura 4.12 – Vistas e dimensões da aeronave Thrush 510P



Fonte: (THRUSH, 2021, Adaptado)

Tabela 4.7 – Ficha técnica do Trush 510P

Ficha Técnica Trush 510P	
Motor (querosene)	Pratt & Whitney PT6A-34AG 2200 RPM (750 HP)
Consumo de Combustível	170 a 227 litros/hora
Comprimento total da aeronave	9,85 metros
Envergadura	14,47 metros
Área da asa	33,90 metros quadrados
Capacidade de combustível	863 litros
Volume máximo do hopper	1930 litros
Velocidade de cruzeiro (55% de potência)	241 km/h
Velocidade de Estol	92 km/h
Peso máximo de decolagem	4.763 kg
Peso da aeronave	2.223 kg
Distância de decolagem (4.763 kg)	Corrida no solo: 503 m (nível do mar, 15°C)
Distância de pouso	182,80 metros
Razão de subida	203 metros/min (nível do mar)

Fonte: (THRUSH, 2021, Adaptado)

Figura 4.13 – Aeronave agrícola Thrush



Fonte: (THRUSH, 2021, Adaptado)

4.4.3 AT 502B

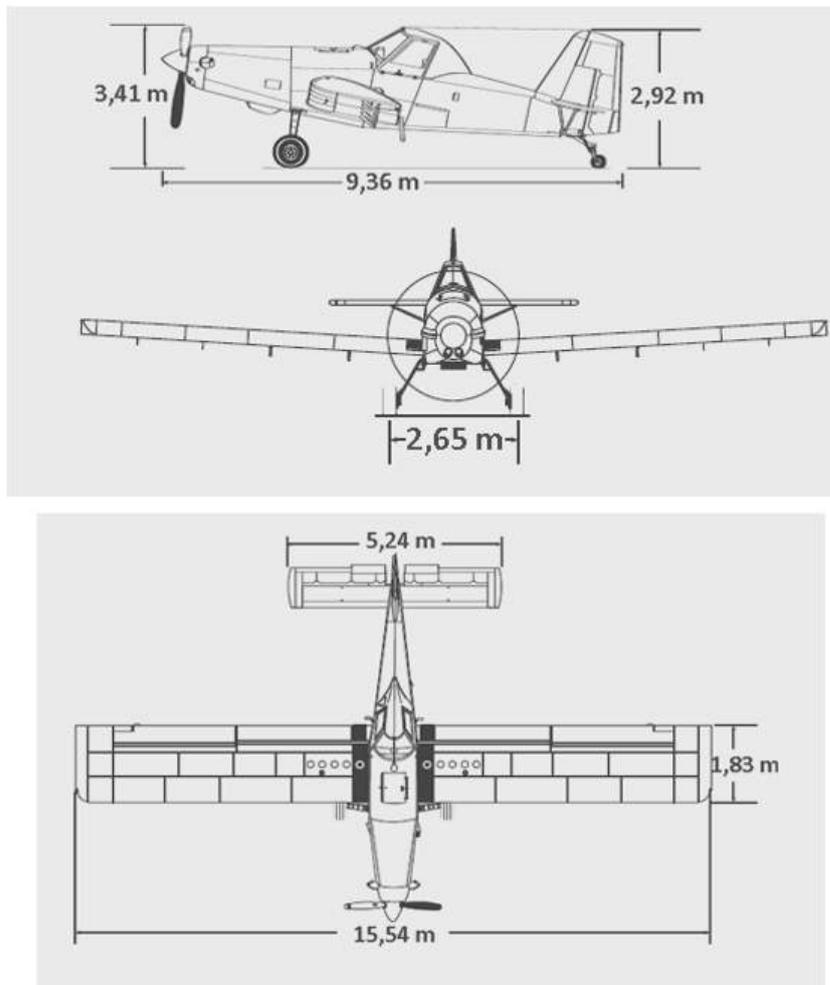
Essa aeronave é fabricada pela empresa *Air Tractor*, que tem sua sede no Texas, EUA. Esta é a maior fabricante de aviões agrícolas do mundo, que tem disponível oito diferentes mo-

delos para atender a todo tipo de demanda, tanto para pulverização aérea quanto para combates a incêndios.

A aeronave é tripulada, possui um potente motor turboélice e devido ao conjunto de vantagens oferecidas por esse modelo, este mostrou-se confiável e por isso, é usado em grande escala nas indústrias atuais.

De acordo com a empresa DP Aviação, localizada em Cachoeira do Sul – RS, que é uma representante de vendas de aeronaves *Air Tractor* novas e usadas, são dadas as informações principais da aeronave, mostradas na Tabela 4.8.

Figura 4.14 – Vistas e dimensões do AT-502B



Fonte: (DP AVIAÇÃO, 2021, Adaptado)

Tabela 4.8 – Ficha técnica AT-502B

Ficha Técnica Air Tractor AT-502B	
Motor (querosene)	Pratt & Whitney PT6A-34AG 2200 RPM (750 HP)
Consumo de Combustível	170 a 227 litros/hora
Comprimento total da aeronave	9,36 metros
Envergadura	15,54 metros
Área da asa	29,01 metros quadrados
Capacidade de combustível	644 litros
Volume máximo do hopper	1893 litros
Capacidade de pulverização	220 hectares/hora de aplicação
Velocidade de cruzeiro (55% de potência)	225 km/h
Velocidade de Estol	85 km/h
Peso máximo de decolagem	4.264 kg
Peso da aeronave	2.204 kg
Distância de decolagem	Corrida no solo: 347 m (nível do mar, 15°C)
Razão de subida (4.264 kg)	265 metros/min (nível do mar)

Fonte: (THRUSH, 2021, Adaptado)

Figura 4.15 – Aeronave AT 502B



Fonte: (AEROGLOBO, 2021)

4.4.4 VANT Pelican

A fim de realizar uma análise do desempenho e dos custos de um VANT para a comparação com as aeronaves tripuladas, utilizou-se como referência os dados de um VANT de asa fixa, fabricado pela empresa Pyka, situada em Oakland, na Califórnia.

"A EmbraerX, subsidiária da Embraer, anunciou em setembro de 2021 uma parceria com a Pyka, companhia americana do Vale do Silício. As empresas vão trabalhar juntas na tecnologia, certificação, operação e futura comercialização do Pelican, uma aeronave agrícola de asa fixa totalmente elétrica e autônoma, desenvolvida pela Pyka. O objetivo é que a solução chegue mais rapidamente ao mercado brasileiro de agricultura de precisão. As empresas disseram que pretendem potencializar os serviços comerciais autônomos no país, conforme a operação da aeronave Pelican se desenvolver no Brasil nos próximos anos. O veículo já está sendo utilizado por clientes da Pyka na América Central."(NEGÓCIOS, 2021) As Figuras 4.16 a 4.19 mostram a estrutura do Pelican.

Figura 4.16 – EmbraerX e Pika fizeram parceria para produzir aeronave agrícola



Fonte: (NEGÓCIOS, 2021)

Figura 4.17 – VANT Pyka Pelican



Fonte: (ITM, 2020)

Figura 4.18 – VANT Pyka Pelican



Fonte: (ITM, 2020)

Figura 4.19 – VANT Pyka Pelican



Fonte: (ITM, 2020)

Para facilitar a visualização dos principais parâmetros da aeronave, construiu-se a Tabela 4.9 com os dados do Pelican.

Tabela 4.9 – Parâmetros da aeronave Pelican

Ficha Técnica Pelican	
Motores	75 kW (3 motores de 25kW)
Autonomia	30 minutos + 10 minutos de reserva
Comprimento total da aeronave	6,096 metros
Envergadura	11,5824 metros
Área da asa	10,95 metros quadrados
Faixa de aplicação	10,36 metros
Volume máximo do hopper	382 litros ou 317,515 kg
Capacidade de pulverização	34 - 53 hectare/hora
Velocidade máxima de aplicação e cruzeiro	148 km/h
Velocidade de estol	64,82 km/h
Peso máximo de decolagem	598,7419 kg
Peso da aeronave	281,227 kg
Distância de decolagem	91,44 m
Taxa de aplicação máxima	46,8 L/hectare

Fonte: (PYKA, 2021)

5 METODOLOGIA

5.1 Análise dos acidentes na aviação agrícola

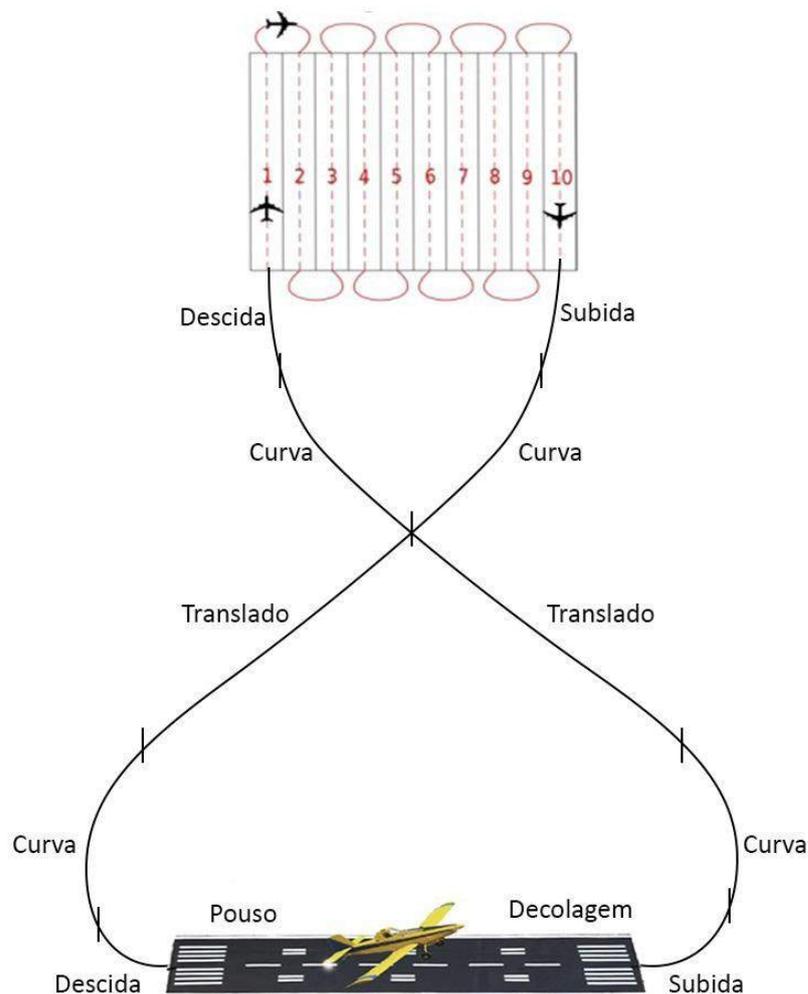
A fim de analisar estatisticamente as maiores frequências das ocorrências e causas de acidentes e buscar relações potenciais entre elas, levando a possíveis conclusões, foram extraídos dados do sumário estatístico de ocorrências na aviação agrícola entre 2008 e 2017 no Brasil, disponibilizado pelo CENIPA, referente a acidentes de aeronaves asa-fixa tendo a aplicação aérea como serviço especializado designado, sendo registradas na categoria SAE-AG conforme resolução 293 de 19/11/2013, publicada pela ANAC.

Serão analisados somente os dados de ocorrências definidas como acidente, excluindo os dados de incidentes graves apresentados no sumário estatístico. O COMAER define uma ocorrência como acidente se uma pessoa sofreu lesão grave ou venha a falecer, ou se a aeronave sofreu dano ou falha estrutural que afete o desempenho ou suas características de voo. Os dados são provenientes de informações apresentadas em relatórios finais de acidentes, incluindo informações específicas a respeito das causas e fatores contribuintes.

5.2 Análise de desempenho e custos operacionais

Através do perfil de missão e equações de desempenho de aeronaves apresentadas no referencial teórico, podem ser obtidos parâmetros que possibilitam estimar o rendimento e os custos da aplicação aérea das três aeronaves agrícolas escolhidas, além do VANT agrícola, por meio do tempo total gasto na missão e o respectivo consumo de combustível, além de outras variáveis envolvidas nos custos. Para isso, a partir de um cenário genérico apresentado na Figura 5.1, foram propostos diversos casos com variação da área e taxa de aplicação por hectare, conforme descrito na Tabela 5.1. Todos os cálculos foram implementados utilizando o *software* MATLAB.

Figura 5.1 – Missão da aeronave agrícola



Fonte: (SILVA, 2020, Adaptado)

Tabela 5.1 – Numeração dos casos estipulados conforme área e taxa de aplicação

Área / Taxa de aplicação	Cenário 1 (10 hectares)	Cenário 2 (100 hectares)	Cenário 3 (1000 hectares)
Ultra Baixo Volume	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Baixo Volume	Caso 4	Caso 5	Caso 6
Médio Volume	Caso 7	Caso 8	Caso 9

Fonte: Autores

5.2.1 Tempo de abastecimento e taxiamento

Para o cálculo do tempo de abastecimento do produto e combustível, foi considerada uma moto bomba com vazão média de 400 L/min, geralmente utilizada nesse tipo de operação.

O tempo de taxiamento, que é parte do perfil da missão, foi estimado em 2 minutos para as aeronaves tripuladas, e 1 minuto para o VANT, a fim de facilitar a formulação matemática.

5.2.2 Distância da pista até o local de aplicação

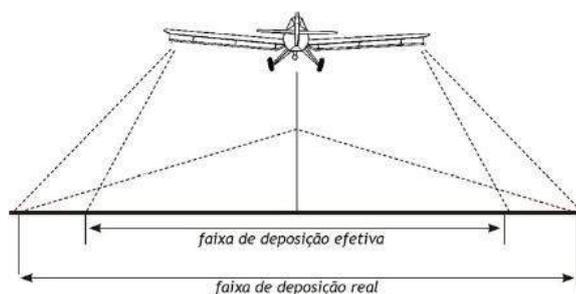
Uma grande distância da pista que está sendo utilizada para o carregamento da aeronave até a lavoura influencia negativamente no rendimento da operação. Quanto maior for a taxa de aplicação, pior será o rendimento no caso de uma pista situar-se longe da lavoura. Operar com altas taxas de aplicação e pistas distantes acarreta um alto custo, a ponto de tornar a aplicação economicamente inviável. Adotou-se a distância da pista até o local de aplicação sendo 5 km para as aeronaves e 0,5 km para o VANT. Isso porque, as aeronaves tripuladas precisam se deslocar da área de pulverização para uma pista específica mais próxima, onde elas sejam capazes de pousar, se reabastecer e decolar novamente. Por outro lado, a aeronave de asa fixa não tripulada não necessita de uma “pista” propriamente dita para pousar e decolar, bastando um espaço plano e de dimensões suficientes, que pode ser localizado mais perto da própria plantação.

5.2.3 Taxa de aplicação, cultura e faixa de aplicação escolhidas

A taxa de aplicação representa o volume de produto aplicado por hectare. Assim, se o produto for sólido ou granular, a taxa de aplicação será expressa em kg/hectare. Se for líquido, a taxa será dada em litros/hectare (L/ha). O rendimento da aplicação é inversamente proporcional à taxa de aplicação: quanto maior for a taxa, menor o rendimento operacional. Isso porque se o volume aplicado por hectare aumentar, mantendo-se constante a carga da aeronave, menor será a área coberta a cada carregamento.

A aplicação aérea é realizada mediante a passagem sobre a área em faixas retilíneas e paralelas. Em função da largura dessas faixas é feito um certo número de passagens para que a área seja completa. Deste modo, é fácil perceber que quanto mais largas forem as faixas de deposição efetiva, maior o rendimento operacional. A largura da faixa de deposição depende de diversos fatores, dentre eles: avião empregado, tipo de produto, tamanho da gota, altura de voo, velocidade do voo, velocidade e direção do vento. A faixa efetiva é determinada previamente através de testes de deposição, embora ao momento da aplicação esta possa ser variada em razão de alterações nas condições meteorológicas, por exemplo.

Figura 5.2 – Faixa de deposição efetiva vs faixa de deposição real



Fonte: Autores

No presente trabalho, o produto utilizado é líquido, especificamente um herbicida para a cultura da cana-de-açúcar, sendo analisados casos com Ultra Baixo, Baixo e Médio Volumes, e utilizadas faixas de aplicação de 15m, 18m e 20m, para as aeronaves Ipanema, Trush e Air Tractor respectivamente, conforme as Tabelas 5.2 e 5.3.

Tabela 5.2 – Volume de aplicação de acordo com a vazão

Aplicação	Litros/hectare
Alto volume	> 50
Médio volume	30 a 50
Baixo volume	5 a 30
Ultra baixo volume	< 5

Fonte: (MATSUO, 2011, Adaptado)

Tabela 5.3 – Larguras de faixa efetivas obtidas por algumas aeronaves agrícolas

Marca da aeronave	Modelo	BV - Herbicidas Altura de voo: 2-4 m	BV - Fungicidas Altura de voo: 2-4 m	UBV - Inseticida Altura de voo: 2-4 m
Air Tractor (L)	402	20 metros	20 metros	25 metros
Cessna (L)	Ag Wagon	15 metros	15 metros	20 metros
Cessna (L)	Ag Truck	15 metros	18 metros	25 metros
Dromader (L)	PZL-M-18	30 metros	35 metros	40 metros
Grumman (B)	Agcat	15 metros	22 metros	25 metros
Ipanema (L)	EMB-200A	15 metros	20 metros	25 metros
Piper (L)	Pawnee	15 metros	20 metros	25 metros
Thrush (L)	S-2R	18 metros	25 metros	30 metros
(L) Asa baixa (B) Biplano				

Fonte: (DRESCHER, 2012, Adaptado)

De modo geral, a literatura aponta que a faixa de deposição de uma aeronave corresponde a uma vez e meia a envergadura de suas asas.

5.2.4 Custos Fixos

Os custos fixos envolvidos na operação aeroagrícola podem ser definidos como aqueles que devem ser debitados independentemente dos lucros obtidos com a pulverização. Entre estes, podem ser citados a depreciação da aeronave, as taxas de juros sobre o capital fixo, os seguros das aeronaves, a mão-de-obra fixa e a hangaragem, definida como o aluguel do local onde a aeronave é mantida.

Neste trabalho, a fim de minimizar a complexidade da análise financeira, considerou-se a depreciação apenas da aeronave, que é o patrimônio de maior poder econômico dentro da empresa. Para fazer uma padronização, estipulou-se uma depreciação de 5% ao ano sobre o preço do avião. Logo, o valor de depreciação dependerá apenas do preço da aeronave. Por outro lado, como neste trabalho supõe-se um modelo de VANT e seu fabricante ainda não divulgou o seu preço, considerou-se três valores distintos para este, sendo R\$ 250.000, R\$ 500.000,00 e R\$ 1.000.000,00.

Para o cálculo da taxa de juros sobre o capital fixo, esta foi estimada de acordo com a taxa SELIC brasileira, que é a taxa básica de juros sobre a economia. Esta taxa representa o principal instrumento de política monetária utilizado pelo Banco Central (BC) para o controle da inflação. Ela influencia todas as taxas de juros do país, como as taxas de juros dos empréstimos, dos financiamentos e das aplicações financeiras. O órgão do Banco Central responsável por definir esta taxa é o COPOM (Comitê de Política Monetária), que estipula seu valor a cada 45 dias.

Assim, em sua atualização, em 27 de outubro de 2021, o COPOM determinou sua cotação em 7,75% ao ano. Por isso, utilizou-se este valor como referência para o cálculo da taxa sobre o capital fixo (preço de cada aeronave).

O seguro RETA - Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador Aéreo - é obrigatório para todas as aeronaves, independentemente de sua utilização ou operação. Este seguro cobre danos a terceiros, tripulantes, passageiros, pessoas e bens no solo e danos oriundos de colisão. Segundo a corretora de seguros Vokan, localizada em Ribeirão Preto (SP), pode-se estipular o valor do seguro Reta como R\$ 600,00 por ano para as aeronaves agrícolas, incluindo o modelo do VANT.

Além do seguro RETA, é importante contabilizar o seguro de casco, que cobre prejuízos causados à aeronave e aos seus componentes. Este seguro é mais complicado de se determinar, pois exige uma série de informações de fabricação e uso para a sua cotação. Contudo, de acordo com Luiz Eduardo Moreira, presidente da Vokan, o preço do seguro de casco da aeronave Ipanema 202-A é aproximadamente R\$ 80.000,00 por ano, o que corresponde a mais ou menos 4,85% do valor da aeronave. Com esta relação, encontra-se o seguro de casco para as outras aeronaves e para o Pelican.

Em relação à mão-de-obra, há uma parte do salário do piloto que é fixa, de acordo com a Convenção Coletiva de Trabalho (CCT), realizada todos os anos pelo SNA - Sindicato Nacional dos Aeronautas. Este ano ainda não houve reunião entre os associados. Contudo, a última CCT (2020/2021) teve sua validação até o dia 31/08/2021 e estipulou o piso salarial dos pilotos agrícolas de acordo com a seguinte cláusula:

“CLÁUSULA TERCEIRA – PISO SALARIAL: Ressalvadas as melhores condições e baseados no princípio da irredutibilidade salarial, os aeronautas pilotos agrícolas abrangidos pela presente Convenção Coletiva de Trabalho receberão um salário mensal fixo de no mínimo R\$ 2.815,20 (dois mil oitocentos e quinze reais e vinte centavos).” (SNEA; SNA, 2021)

Para o caso do operador do Vant, não se sabe ao certo o seu salário mensal. Por isso, estipulou-se uma remuneração fixa de R\$ 4.000,00.

Nesta consideração de custos com mão-de-obra, torna-se necessário também contabilizar o salário do mecânico agrícola. Fez-se uma pesquisa e encontrou-se a Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Tabela de salários mensais por tipo de empresa

Segmento da empresa	Jornada	Piso salarial	Média salarial	Teto salarial	Salário/hora (R\$/h)
Manutenção e reparação de aeronaves	43	R\$ 2.448,89	R\$ 2.683,16	R\$ 4.054,87	12,54
Transporte aéreo de passageiros regular	40	R\$ 3.511,36	R\$ 3.847,27	R\$ 5.814,11	19,35
Transporte aéreo de carga	38	R\$ 2.308,16	R\$ 2.528,96	R\$ 3.821,85	13,41
Fabricação de aeronaves	41	R\$ 4.641,65	R\$ 5.085,68	R\$ 7.685,63	24,55

Fonte: (SALARIO, 2021, Adaptado)

Portanto, de acordo com a Tabela 5.4, a média salarial mensal de um mecânico agrícola é R\$ 1.713,12.

Para o Vant, por ser elétrico, a sua manutenção é mais simples, sendo necessária apenas uma limpeza dos bicos pulverizadores, a troca de baterias quando estas se descarregarem e troca de peças que se desgastam ao longo do tempo, como pneus e pás da hélice. Dessa forma, para o funcionário responsável por essas tarefas, estipulou-se o salário mensal de 20% sobre a média salarial mensal do mecânico agrícola.

Além dos salários do piloto agrícola e do mecânico, é necessário contabilizar o salário de um funcionário responsável pela gestão da empresa, que pode ter ensino médio completo ou superior. Supõem-se neste trabalho o valor de R\$ 3.000,00 mensais. Somando este valor ao salário do piloto e ao salário mensal do mecânico agrícola, se tem uma ideia dos custos envolvidos na mão-de-obra fixa da empresa.

O preço pago pela hangaragem ou habitação de uma aeronave depende de vários fatores, como localização do hangar, tamanho, infraestrutura, entre outros. A fim de dar embasamento para nossa análise financeira, utilizou-se como referência o hangar Asa Branca, localizado a

150 km de São Paulo, que cobra R\$ 550,00 mensais para aeronaves monomotoras. Visto que o Vant estudado possui apenas 1,334 metros a menos de comprimento que o Ipanema 202A, utilizou-se esse mesmo valor de custo de aluguel do hangar.

Visto que estes custos não variam conforme o tamanho das áreas pulverizadas, buscou-se uma média de horas voadas pelas aeronaves agrícolas por ano para se obter uma relação de custos por hora. Conforme o presidente do Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (Sindag), Thiago Magalhães Silva, a média em 2020 foi de 500 horas voadas por aeronave. Assim, supõe-se que a média de horas voadas pelo Pelican também foi de 500 horas anuais.

5.2.5 Custos Variáveis

Os custos variáveis são as despesas que variam de acordo com a utilização dos equipamentos. Nesta classe, encontram-se o consumo de combustível, os impostos, a mão-de-obra e a revisão da aeronave.

Os resultados do combustível consumido durante cada caso são obtidos utilizando as equações de desempenho de cada aeronave e são dados em unidade de massa (Kg). Diante disso, utilizando a Equação 5.1, que é a fórmula básica da densidade de uma substância, encontra-se o volume de combustível gasto, em litros (L).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (5.1)$$

Em que ρ representa a densidade (kg/m^3), m representa a massa (dada em kg) e V simboliza o volume (dado em L). Logo, sabendo o volume de combustível consumido em cada etapa do diagrama de missão, multiplica-se pelo preço do litro de combustível (em reais) e acha-se o valor das despesas com o combustível. No caso da aeronave Ipanema 202A, que utiliza o etanol, a densidade deste é aproximadamente de 0,811 kg/L, à temperatura de 20°C. O valor deste combustível atualmente custa em torno de R\$ 4,96. Para as aeronaves Thrush 510P e Air Tractor 502B, que utilizam a querosene de aviação, a sua densidade é 0,8366 kg/L e o preço médio do litro custa R\$ 4,82.

Para o Pelican, por ser elétrico, não há consumo de combustível e sim, consumo de energia elétrica. De acordo com a CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais, o preço cobrado pelo kWh custa aproximadamente R\$ 1,127. Este valor foi obtido da própria conta de energia residencial, como pode ser visto na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Preço cobrado por kWh

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	124	1,12715220	139,74

Fonte: Autores

O valor dos impostos pagos pela empresa é mais complexo de se determinar. Por isso, usou-se como referência a pesquisa do SINDAG (2021), Tabela 4.5. Esta determinou os valores dos impostos para as aeronaves Ipanema 202A, Thrush 510P e Air Tractor 502B como sendo R\$ 3,90/ha, R\$ 5,54/ha e R\$ 5,00/ha, respectivamente. No caso do VANT, para estipular o valor dos impostos pagos por hectare, fez-se uma média aritmética entre os três impostos das aeronaves agrícolas, encontrando-se R\$ 4,81/ha. Feito isso, fez-se também uma média entre os preços já conhecidos dos aviões (Ipanema 202A, Thrush 510P e Air Tractor 502B), achando-se o valor de R\$ 3.383.333,33. Dessa forma, basta fazer uma relação entre os preços estimados do VANT e o preço médio das aeronaves com seu respectivo valor médio dos impostos. Estes valores devem ser multiplicados pelas três áreas distintas (10, 100 e 1000 ha) para se saber o custo pago com impostos em todas as situações.

O custo variável da mão-de-obra do piloto foi estipulado em R\$ 7,00 por hectare, de acordo com o doutor Cristian Foguesato, sócio do Grupo Rara, empresa focada na prestação de serviço para os agentes dos agronegócios, incluindo empresários rurais e instituições bancárias. No caso do Pelican, não considerou-se custo variável para o seu operador. Estipulou-se somente o salário mensal fixo de R\$ 4.000,00, visto que não foi encontrado nenhuma informação sobre comissão por hectare para o operador de VANTs.

De acordo com a oficina aeronáutica Naves Aviação, localizada em São Paulo (SP), a manutenção de uma aeronave à pistão, como o Ipanema 202A, custa em torno de R\$ 3.500,00 e precisa ser feita a cada 50 horas de voo. Assim, como uma aeronave agrícola voa, em média, 500 horas por ano, isso corresponde a 10 revisões anuais. Dividindo o preço da manutenção total pelo número de horas voadas, obtém-se o valor da revisão por hora (R\$ 70,00/h). Dessa forma, multiplica-se esse preço encontrado pelo tempo gasto em cada missão do Ipanema 202A para se ter o custo com revisão na fase correspondente.

Já as aeronaves turbo-hélice, como o Thrush 510P e o Air Tractor 502B, necessitam de revisão a cada 100 horas e seu custo é de, aproximadamente, R\$ 7.000, incluindo a troca de filtros, também de acordo com a oficina Naves Aviação. Estes modelos ainda são revisados após 300 horas voadas, geralmente ao final de uma safra. Esta operação custa em torno de

R\$ 28.000,00. Como a média de horas voadas por essas aeronaves por ano equivale a 500 horas, significa dizer que são realizadas duas revisões de 100 horas, uma revisão de 300 horas e por fim, mais duas revisões de 100 horas, totalizando R\$ 56.000,00 gastos com manutenções anualmente. Dividindo esse custo pelas 500 horas de voo, obtém-se o valor da revisão por hora e assim, basta multiplicá-lo pelo tempo gasto (em horas) em cada missão para descobrir o valor a ser pago com manutenção.

Assim, é necessário construir uma tabela com os custos totais da empresa, ou seja, somam-se os custos fixos e variáveis, de acordo com os tamanhos de área supostos e os três valores de vazões (4, 15 e 40 L/ha). Esses resultados estão representados na Tabela 6.17.

Feito isso, acha-se o faturamento da empresa, considerando as diferentes áreas e vazões. Para isso, utilizou-se como referência o valor cobrado por hectare, utilizando a aeronave Ipanema 202, da Tabela 4.5. Então, para a vazão de 4 L/ha, cobra-se R\$ 4,87; para a vazão de 15 L/ha, R\$ 38,95 e por último, para a vazão de 40 L/ha, cobra-se R\$ 48,69. Neste trabalho, estendeu-se esses preços a todos os modelos de aeronave, a fim de se fazer um cálculo aproximado dos ganhos da empresa, que se encontram na Tabela 6.18.

Para a análise de lucros ou prejuízos, faz-se a diferença entre os ganhos totais obtidos e os custos totais, considerando as áreas e as diferentes vazões, para cada modelo de aeronave. Os resultados podem ser analisados na Tabela 6.19.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Acidentes na aviação agrícola

Diante dos dados estatísticos, o tipo de ocorrência mais significativa no período analisado, de 10 anos, na aviação agrícola brasileira foi a perda de controle em voo, ocorrendo mais frequentemente durante a fase de manobras/aplicação aérea, e decolagem. Tal conclusão difere da maioria das estatísticas de acidentes da aviação em geral, as quais apontam a fase de pouso como responsável pela grande maioria dos acidentes (LI et al., 2001). Verifica-se que a perda de controle em voo é muito recorrente em função das características associadas ao voo agrícola, que dispõem, ao piloto, pouco tempo para reação frente a situações que potencialmente possam sair do controle. Em virtude das repetidas manobras de reversão a baixa altura, pequenas alterações no perfil das curvas podem levar a situações que não permitam mais ao piloto a retomada do controle da aeronave, como por exemplo uma perda de sustentação (estol) em curva, visto ser facilitado proporcionalmente à inclinação da asa da aeronave em curva. Outro fator muito comum neste tipo de acidente é a falta de disciplina, infelizmente praticada por alguns pilotos que desafiam as limitações próprias e das máquinas, executando manobras não previstas, sem qualificação adequada e em aeronaves não certificadas para tal.

Tratando-se de fatores humanos como as mais frequentes causas da perda de controle em voo ou colisão com obstáculos durante pouso e decolagem, considera-se tal resultado concordante com a literatura de acidentes da aviação (LI et al., 2001; DOORN, 2014), e pode-se explicitar que em diversos relatórios finais e sumas de investigação foi possível verificar a presença de fatores contribuintes relacionados a inadequada utilização dos flapes, além da não observância dos gráficos de performance das aeronaves para verificação do desempenho na decolagem, utilizando julgamento baseado muitas vezes na experiência própria ou de outros operadores. Além disso, ventos laterais nas fases de pouso ou decolagem são os que demandam maior atenção por parte dos pilotos, considerando ainda que aviões com trem de pouso do tipo convencional sofrem maior influência dos ventos cruzados nestas fases.

6.2 Desempenho operacional

Através da implementação via software Matlab do equacionamento anteriormente apresentada, foram obtidos os resultados de desempenho operacional para as aeronaves adotadas. A tabela com os dados de desempenho operacional do Ipanema 202A se encontra no Anexo ??.

Analisando os resultados de desempenho operacional do Ipanema 202A para os casos adotados de 10, 100 e 1.000 ha, variando a taxa de aplicação entre 4 L/ha (ultra baixo volume), 15 L/ha (baixo volume) e 40 L/ha (médio volume), considerando faixa de aplicação de 15 metros, é possível observar que conforme aumenta-se a área e a vazão, aumenta-se o número de cargas necessárias. Diante disso, são executados retornos para reabastecimento de produto e combustível, multiplicando assim o tempo e consumo gastos nas fases fora da aplicação propriamente dita, sendo elas: tempo em solo, decolagens, subidas, cruzeiros, descidas e pousos. A exceção é o caso da menor área (10 ha), na qual o Ipanema 202A é capaz de cumprir as três taxas de aplicação com uma única carga de produto e combustível.

Quanto à distribuição de tempo e consumo entre as etapas, as maiores porcentagens estão na fase de aplicação do produto (“passadas” e “balões”), mais especificamente na fase dos “balões”, os quais consistem nas curvas de reversão. Os valores encontrados foram de 64% do tempo total gasto nos balões com 74,8% do combustível total gasto.

Para o tempo nas passadas, fixando a vazão de 40L/ha para as três áreas, são encontrados tempos de 6%, 15,9% e 25,1% do total gasto (aumento), enquanto ao se fixar uma área de 1000 ha e variar a vazão, observam-se 44,4%, 35,8% e 25,1% (diminuição). Logo, conforme aumenta-se a área, a porcentagem de tempo e consumo referentes às passadas também aumenta. Entretanto, para uma mesma área, essas porcentagens diminuem com o aumento da taxa de aplicação, pois há um aumento do tempo gasto nas demais fases citadas anteriormente, devido aos re-abastecimentos.

Finalmente, tratando-se do rendimento (produtividade), observa-se um aumento deste conforme aumenta-se a área, e uma respectiva diminuição conforme aumenta-se a taxa de aplicação. Por exemplo: para a área de 10 ha, as três vazões apresentaram rendimento de 16,75 ha/h, já na a área de 100 ha, foram encontrados rendimentos de 55,7, 50,6 e 42,7 ha/h para as vazões de 4, 15 e 40 L/ha respectivamente, sendo o maior rendimento encontrado para a aeronave Ipanema 202A, dentre os casos estudados, de 119,9 ha/h para a área de 1.000 hectares com taxa de aplicação de 4 L/ha.

6.2.1 Trush 510P

O desempenho operacional do Thrush 510P pode ser observado no Anexo A.

Assim como no caso da aeronave Ipanema 202A, o Thrush 510P também é capaz de executar a aplicação na área de 10ha com as vazões de 4, 15 e 40 L/ha utilizando apenas uma

carga, além também das taxas de 4 e 15 L/ha para a área de 100 ha, superando o Ipanema. Esta é uma aeronave Turbo-hélice, diferente do Ipanema, que tem motor a pistão, apresentando portanto maior potência, além de apresentar maior capacidade de combustível e maior reservatório de produto (*hopper*), conseqüentemente os tempos e número de cargas necessárias são menores, porém o consumo de combustível é maior. A faixa de aplicação considerada é de 18 metros, fazendo com que o número de balões para as mesmas áreas seja menor do que no caso do Ipanema.

As relações de distribuição de tempo gasto, consumo e rendimento observadas para o Ipanema também ocorrem no Thrush, e os rendimentos são superiores ao Ipanema em todos os casos, sendo o maior encontrado de 188,7 ha/h, também para a área de 1.000 ha com 4 L/h de taxa de aplicação.

6.2.2 Air Tractor 502B

O desempenho operacional do Air Tractor 502B pode ser analisado no Anexo B.

A aeronave Air Tractor 502B também é do tipo Turbo-Hélice e possui a mesma potência que o Thrush 510P, entretanto, apresenta capacidades de combustível e produto um pouco menores em relação ao Thrush. Em contrapartida, utiliza uma faixa de aplicação de 20 metros, o que gera um menor número de balões para as mesmas áreas, conseqüentemente diminuindo o tempo total e consumo de combustível, que aliados às demais condições fazem com que o Air Tractor 502B obtenha os melhores valores de rendimento dentre as aeronaves tripuladas adotadas.

O maior rendimento apresentado é de 208,3 ha/h, também referente a área de 1000 ha com taxa de aplicação de 4 L/ha, e, analisando juntamente com os resultados das demais aeronaves, observa-se que nos três casos de maior rendimento, a maior porcentagem de tempo gasto está concentrada especificamente nas passadas, que é a fase onde ocorre a aplicação propriamente dita, demonstrando então coerência nos resultados encontrados.

6.2.3 VANT Pelican

Analisando os resultados para o VANT Pelican em comparação aos das outras aeronaves, pode-se observar primeiramente que o número de cargas necessárias é maior, principalmente nas áreas de 100 ha e 1000 ha. Para a área de 100 ha necessita uma média de 2,6 vezes mais cargas em relação ao Ipanema e 3,5 vezes mais em relação ao Thrush e Air Tractor, já para a

área de 1000 ha necessita uma média de 3.2 vezes mais cargas em relação ao Ipanema e 5,2 vezes mais em relação ao Thrush e Air Tractor. Isso se deve ao fato de o Pelican apresentar uma autonomia de apenas 40 minutos de voo, e um Hopper de 382 litros de capacidade de produto.

As relações entre tempo gasto, consumo e rendimento variando com a área e taxa de aplicação são análogas às das outras aeronaves, sendo a faixa de aplicação máxima possível do Pelican de 10,36 metros, contra 15 metros do Ipanema, 18 metros do Thrush e 20 metros do Air Tractor, fazendo com que o número de balões seja maior e conseqüentemente o tempo total também.

O maior rendimento apresentado se dá para a área de 1000 ha com 4 L/ha de taxa de aplicação, de forma semelhante às demais aeronaves, porém o menor entre elas. No entanto, quando se compara em relação ao Ipanema 202A, para a área de 10 ha o Pelican supera em rendimento e tempo total nas três taxas de aplicação utilizadas, demonstrando, portanto, possíveis vantagens da sua utilização em áreas menores. Quanto ao consumo, por possuir motores elétricos, os resultados são dados em kWh e sua comparação com o consumo das demais aeronaves será discutida a seguir, levando em consideração os respectivos custos.

6.3 Custos Fixos

Os custos fixos são aqueles que independem do número de horas voadas e podem ser contabilizados anualmente ou mensalmente. No entanto, os custos fixos mensais serão projetados ao ano, para montar uma base coerente.

Esses custos serão diluídos através de valores estimados de utilização da aeronave ao longo de um ano (12 meses).

Assim, os custos fixos serão somados aos custos variáveis, que podem depender do número de horas voadas ou também do número de hectares aplicados (por exemplo, a remuneração do piloto).

Essa matriz de custos será analisada para cada cenário adotado, variando o modelo da aeronave, vazão e área.

Tabela 6.1 – Preço, depreciação e taxa de juros das aeronaves

Modelos das aeronaves	Preço da aeronave	Depreciação anual (5%)	Taxa de juros anual (7,75% ao ano)
Ipanema 202A	R\$ 1.650.000,00	R\$ 82.500,00	R\$ 127.875,00
Thrush 510P	R\$ 4.500.000,00	R\$ 225.000,00	R\$ 348.750,00
Air Tractor 502B	R\$ 4.000.000,00	R\$ 200.000,00	R\$ 310.000,00
Vant	R\$ 250.000,00	R\$ 12.500,00	R\$ 19.375,00
	R\$ 500.000,00	R\$ 25.000,00	R\$ 38.750,00
	R\$ 1.000.000,00	R\$ 50.000,00	R\$ 77.500,00

Fonte: Autores

A depreciação está diretamente associada ao preço comercial de cada avião agrícola. O mesmo acontece com a taxa de juros sobre o capital fixo. Por isso, como pode ser observado na Tabela 6.1, quanto maior o valor do modelo aeroagrícola, maiores são os custos com depreciação e taxa de juros.

Dessa forma, como o Thrush é a aeronave mais cara utilizada neste trabalho, ela possui os maiores valores de depreciação e taxa de juros anuais. Por outro lado, considerando o preço do Pelican como R\$ 250.000,00, ele ocupa a posição de menor valor depreciável e menores taxas de juros.

Tabela 6.2 – Custos com seguros anuais

Modelos das aeronaves	Seguro RETA anual (R\$)	Seguro de Casco anual (R\$)	Seguro total anual (R\$)
Ipanema 202A	R\$ 600,00	R\$ 80.000,00	R\$ 80.600,00
Thrush 510P	R\$ 600,00	R\$ 218.250,00	R\$ 218.850,00
Air Tractor 502B	R\$ 600,00	R\$ 194.000,00	R\$ 194.600,00
Vant	R\$ 600,00	R\$ 12.125,00	R\$ 12.725,00
	R\$ 600,00	R\$ 24.250,00	R\$ 24.850,00
	R\$ 600,00	R\$ 48.500,00	R\$ 49.100,00

Fonte: Autores

Pela Tabela 6.2, percebe-se que os custos com o seguro Reta seguem um valor tabelado de R\$ 600,00 por ano, independentemente do modelo da aeronave. Contudo, o seguro de casco

depende basicamente do preço de mercado das aeronaves. Portanto, quanto maior o valor da aeronave, mais caro é o seguro de casco anualmente.

A soma dos dois seguros (Reta e Seguro de Casco) corresponde ao custo total com seguros por ano. Novamente, a aeronave Thrush 510P ocupa a primeira posição de gastos.

Tabela 6.3 – Mão de obra fixa

Modelos das aeronaves	Salário mensal do piloto	Salário mensal do mecânico	Salário mensal do gestor da empresa	Mão-de-obra mensal total	Mão-de-obra total anual
Ipanema 202A	R\$ 2.815,20	R\$ 2.683,16	R\$ 3.000,00	R\$ 8.498,36	R\$ 101.980,32
Thrush 510P	R\$ 2.815,20	R\$ 2.683,16	R\$ 3.000,00	R\$ 8.498,36	R\$ 101.980,32
Air Tractor 502B	R\$ 2.815,20	R\$ 2.683,16	R\$ 3.000,00	R\$ 8.498,36	R\$ 101.980,32
Vant	R\$ 4.000,00	R\$ 536,63	R\$ 3.000,00	R\$ 7.536,63	R\$ 90.439,58

Fonte: Autores

O salário mensal do operador do VANT foi estimado em R\$ 4.000,00 mensais e não depende do preço do Pelican, tampouco do seu rendimento.

O salário do gestor da empresa foi estimado em R\$ 3.000,00 mensais, visto que esse funcionário não precisa ter, necessariamente, ensino superior. Ele deve possuir obrigatoriamente ensino médio completo e ser apto para resolver pendências básicas de logística, como orçamentos, agendamentos de trabalho e pagamento de contas, por exemplo.

A mão-de-obra anual se mostrou a mesma para todas as aeronaves agrícolas, pois considerou-se o mesmo salário de piloto, mecânico e gestor da empresa para elas. No caso do Pelican, o custo com mão-de-obra anual foi menor, com uma diferença de mais de R\$ 11.000,00, comparado às aeronaves tripuladas, visto que o salário do mecânico é notavelmente inferior ao salário de um mecânico de aeronaves agrícolas.

Tabela 6.4 – Custos com hangar (mensal e anual)

Modelos das aeronaves	Hangaragem mensal (R\$)	Hangaragem anual (R\$)
Ipanema 202A	R\$ 550,00	R\$ 6.600,00
Thrush 510P	R\$ 550,00	R\$ 6.600,00
Air Tractor 502B	R\$ 550,00	R\$ 6.600,00
Vant	R\$ 550,00	R\$ 6.600,00

Fonte: Autores

Como pode ser observado na Tabela 6.4, os valores de aluguel do hangar não variam conforme a utilização do avião, tampouco do seu valor comercial. Estes custos representam somente o aluguel do espaço (hangar) onde a aeronave encontra-se guardada e são iguais para todos os modelos de aeronave e para o VANT.

Na Tabela 6.5, podem ser observados todos os custos fixos anuais da empresa aeroagrícola.

Tabela 6.5 – Custo Fixo Total Anual

Aeronaves	Depreciação anual (5% a.a)	Taxa de juros anual (7,75% a.a)	Seguros anuais	Mão-de-obra total anual	Hangaragem anual (R\$)	Custos totais anuais
Ipanema 202A	R\$ 82.500,00	R\$ 127.875,00	R\$ 80.600,00	R\$ 101.980,32	R\$ 6.600,00	R\$ 399.555,32
Thrush 510P	R\$ 225.000,00	R\$ 348.750,00	R\$ 218.850,00	R\$ 101.980,32	R\$ 6.600,00	R\$ 901.180,32
Air Tractor 502B	R\$ 200.000,00	R\$ 310.000,00	R\$ 194.600,00	R\$ 101.980,32	R\$ 6.600,00	R\$ 813.180,32
VANT	R\$ 5.000,00	R\$ 7.750,00	R\$ 5.450,00	R\$ 90.439,58	R\$ 6.600,00	R\$ 115.239,58
	R\$ 12.500,00	R\$ 19.375,00	R\$ 12.725,00			R\$ 141.549,58
	R\$ 25.000,00	R\$ 38.750,00	R\$ 24.850,00			R\$ 185.639,58

Fonte: Autores

A Tabela 6.5 mostra todos os custos fixos por ano de cada aeronave agrícola, inclusive do VANT. Pode-se perceber que o maior custo total anual cabe à aeronave Thrush, com R\$ 901.180,32.

Considerando que uma aeronave agrícola voa, em média, 500 horas por ano, dividiu-se os valores expressos na Tabela 6.5 por este número, obtendo-se os valores dos custos totais por hora de voo, mostrados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Custo Fixo Total por Hora Voada

Aeronaves	Depreciação anual por hora de voo (R\$/h)	Taxa de juros anual por hora de voo (R\$/h)	Seguros anuais por hora de voo (R\$/h)	Mão-de-obra total anual por hora de voo (R\$/h)	Hangaragem anual por hora de voo (R\$/h)	Custo fixo total por hora de voo (R\$/h)
Ipanema 202A	165,00	255,75	161,20	203,96	13,20	799,11
Thrusd 510P	450,00	697,50	437,70	203,96	13,20	1.802,36
Air Tractor 502B	400,00	620,00	389,20	203,96	13,20	1.626,36
VANT	10,00	15,50	10,90	180,88	13,20	230,48
	25,00	38,75	25,45			283,28
	50,00	77,50	49,70			371,28

Fonte: Autores

Os custos totais por hora de voo seguem a mesma relação vista na Tabela 6.5, pois todos os valores foram divididos por 500. De posse desses valores, basta multiplicar cada um desses valores pelo tempo total gasto na missão das aeronaves, expresso nos Anexos ??, A, B e C e para as três vazões supostas, que se encontra o custo fixo total envolvido nessas missões.

Tabela 6.7 – Depreciação das aeronaves para as diferentes áreas e diferentes vazões

Aeronaves	Depreciação								
	10 hectares			100 hectares			1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 100,30	R\$ 100,30	R\$ 100,30	R\$ 296,08	R\$ 326,17	R\$ 386,36	R\$ 1376,2	R\$ 1.707,3 0	R\$ 2.429,6 0
Thrusuh 510P	R\$ 224,74	R\$ 224,74	R\$ 224,74	R\$ 537,68	R\$ 537,68	R\$ 758,42	R\$ 2.384,7 0	R\$ 2.936,5 0	R\$ 4.371,3 0
Air Tractor 502B	R\$ 177,94	R\$ 177,94	R\$ 177,94	R\$ 420,17	R\$ 420,17	R\$ 605,29	R\$ 1.920,3 0	R\$ 2.383,1 0	R\$ 3.678,9 0
VANT	R\$ 5,15	R\$ 5,15	R\$ 5,93	R\$ 19,53	R\$ 21,09	R\$ 26,57	R\$ 110,23	R\$ 132,93	R\$ 183,80
	R\$ 12,88	R\$ 12,88	R\$ 14,83	R\$ 48,82	R\$ 52,73	R\$ 66,43	R\$ 275,59	R\$ 332,33	R\$ 459,50
	R\$ 25,75	R\$ 25,75	R\$ 29,66	R\$ 97,63	R\$ 105,46	R\$ 132,85	R\$ 551,17	R\$ 664,65	R\$ 919,00

Fonte: Autores

Tabela 6.8 – Taxa de juros sobre o capital fixo para diferentes áreas e vazões

	10 hectares			100 hectares			1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 155,46	R\$ 155,46	R\$ 155,46	R\$ 458,92	R\$ 505,57	R\$ 598,86	R\$ 2.133,20	R\$ 2.646,30	R\$ 3.765,80
Thrsuh 510P	R\$ 348,34	R\$ 348,34	R\$ 348,34	R\$ 833,40	R\$ 833,40	R\$ 1.175,50	R\$ 3.696,20	R\$ 4.551,60	R\$ 6.775,60
Air Tractor 502B	R\$ 275,82	R\$ 275,82	R\$ 275,82	R\$ 651,26	R\$ 651,26	R\$ 938,20	R\$ 2.976,40	R\$ 3.693,80	R\$ 5.702,30
VANT	R\$ 7,98	R\$ 7,98	R\$ 9,20	R\$ 30,27	R\$ 32,69	R\$ 41,18	R\$ 170,86	R\$ 206,04	R\$ 284,89
	R\$ 19,96	R\$ 19,96	R\$ 22,99	R\$ 75,67	R\$ 81,73	R\$ 102,96	R\$ 427,16	R\$ 515,11	R\$ 712,23
	R\$ 39,92	R\$ 39,92	R\$ 45,98	R\$ 151,33	R\$ 163,46	R\$ 205,92	R\$ 854,32	R\$ 1.030,20	R\$ 1.424,50

Fonte: Autores

Tabela 6.9 – Seguro total para as diferentes áreas e vazões

	10 hectares			100 hectares			1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 97,99	R\$ 97,99	R\$ 97,99	R\$ 289,26	R\$ 318,66	R\$ 377,46	R\$ 1.344,60	R\$ 1.668,00	R\$ 2.373,60
Thrsuh 510P	R\$ 218,59	R\$ 218,59	R\$ 218,59	R\$ 522,98	R\$ 522,98	R\$ 737,69	R\$ 2.319,50	R\$ 2.856,30	R\$ 4.251,80
Air Tractor 502B	R\$ 173,14	R\$ 173,14	R\$ 173,14	R\$ 408,83	R\$ 408,83	R\$ 588,95	R\$ 1.868,40	R\$ 2.318,70	R\$ 3.579,60
VANT	R\$ 5,61	R\$ 5,61	R\$ 6,47	R\$ 21,28	R\$ 22,99	R\$ 28,96	R\$ 120,16	R\$ 144,89	R\$ 200,34
	R\$ 13,11	R\$ 13,11	R\$ 15,10	R\$ 49,69	R\$ 53,68	R\$ 67,62	R\$ 280,55	R\$ 338,31	R\$ 467,77
	R\$ 25,60	R\$ 25,60	R\$ 29,49	R\$ 97,05	R\$ 104,83	R\$ 132,06	R\$ 547,87	R\$ 660,67	R\$ 913,49

Fonte: Autores

Tabela 6.10 – Mão-de-obra para as diferentes áreas e vazões

	10 hectares			100 hectares			1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 109,83	R\$ 109,83	R\$ 109,83	R\$ 324,21	R\$ 357,17	R\$ 423,08	R\$ 1.507,00	R\$ 1.869,50	R\$ 2.660,50
Thrsuh 510P	R\$ 90,23	R\$ 90,23	R\$ 90,23	R\$ 215,88	R\$ 215,88	R\$ 304,51	R\$ 957,47	R\$ 1.179,00	R\$ 1.755,10
Air Tractor 502B	R\$ 80,38	R\$ 80,38	R\$ 80,38	R\$ 189,79	R\$ 189,79	R\$ 273,41	R\$ 867,40	R\$ 1.076,40	R\$ 1.661,80
VANT	R\$ 90,76	R\$ 90,76	R\$ 104,55	R\$ 344,10	R\$ 371,68	R\$ 468,22	R\$ 1.942,60	R\$ 2.342,50	R\$ 3.238,90
	R\$ 90,76	R\$ 90,76	R\$ 104,55	R\$ 344,10	R\$ 371,68	R\$ 468,22	R\$ 1.942,60	R\$ 2.342,50	R\$ 3.238,90
	R\$ 90,76	R\$ 90,76	R\$ 104,55	R\$ 344,10	R\$ 371,68	R\$ 468,22	R\$ 1.942,60	R\$ 2.342,50	R\$ 3.238,90

Fonte: Autores

Tabela 6.11 – Hangaragem para as diferentes áreas e vazões

	10 hectares			100 hectares			1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 8,02	R\$ 8,02	R\$ 8,02	R\$ 23,69	R\$ 26,09	R\$ 30,91	R\$ 110,10	R\$ 136,58	R\$ 194,36
Thrsuh 510P	R\$ 6,59	R\$ 6,59	R\$ 6,59	R\$ 15,77	R\$ 15,77	R\$ 22,25	R\$ 69,95	R\$ 86,14	R\$ 128,22
Air Tractor 502B	R\$ 5,87	R\$ 5,87	R\$ 5,87	R\$ 13,86	R\$ 13,86	R\$ 19,97	R\$ 63,37	R\$ 78,64	R\$ 121,40
VANT	R\$ 6,80	R\$ 6,80	R\$ 7,83	R\$ 25,78	R\$ 27,84	R\$ 35,07	R\$ 145,51	R\$ 175,47	R\$ 242,62
	R\$ 6,80	R\$ 6,80	R\$ 7,83	R\$ 25,78	R\$ 27,84	R\$ 35,07	R\$ 145,51	R\$ 175,47	R\$ 242,62
	R\$ 6,80	R\$ 6,80	R\$ 7,83	R\$ 25,78	R\$ 27,84	R\$ 35,07	R\$ 145,51	R\$ 175,47	R\$ 242,62

Fonte: Autores

Nas Tabelas de 6.7 a 6.11 foram apresentados os custos envolvidos na operação aeroagrícola, para as diferentes áreas e para as três vazões supostas (4 L/ha, 15 L/ha e 40 L/ha).

Para a área de 10 hectares, as aeronaves agrícolas mantêm o mesmo valor de depreciação, taxa de juros, seguros, mão-de-obra e hangaragem, independentemente da dosagem do produto aplicado. Isso ocorre porque, para este tamanho de área (10 ha), o tempo gasto na pulverização é o mesmo, já as aeronaves cumprem toda a sua missão com apenas uma carga (de defensivo agrícola e de combustível), como pode ser visualizado nas tabelas do Anexos ??, A e B.

As aeronaves agrícolas Thrush 510P e Air Tractor 502B ainda mantêm o mesmo custo para a área de 100 hectares, com vazões de 4 L/ha e 15 L/ha. Isso acontece porque, como pode ser visualizado nos Anexos A e C, estas aeronaves apresentam o mesmo número de cargas para as duas vazões (um tanque de combustível e um de herbicida), ambas necessitam apenas de uma carga.

Para as áreas de 100 hectares (a partir da vazão de 40 L/ha) e de 1000 hectares, esses custos aumentam conforme aumenta-se a vazão. Isso ocorre porque aumenta-se o número de cargas feitas e, conseqüentemente, aumenta-se o tempo gasto para realizar toda a pulverização agrícola. Dessa forma, os custos despendidos são maiores.

Por outro lado, o VANT apresenta os mesmos custos nas vazões de 4 L/ha e 15 L/ha para a área de 10 hectares, pois ele gasta apenas um tanque de combustível e de produto pulverizador, como pode ser comprovado no Anexo C. Nessa mesma área, na dosagem de 40 L/ha, o VANT necessita de duas cargas para realizar a sua missão e, conseqüentemente, gasta-se um tempo maior, por isso há um acréscimo nos custos. A partir desse valor, os custos aumentam gradativamente, à medida que a vazão se eleva, como pode ser observado em todas nas Tabelas 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11.

A aeronave agrícola Thrush 510P é o modelo que teve o maior valor depreciável, R\$ 4.371,30, conforme a Tabela 6.7. Isso ocorre na área de 1.000 hectares, a uma vazão de 40 L/ha, onde a aeronave gasta maior tempo para completar sua missão. Segundo o Anexo A, o Thrush leva 34.971 segundos para realizar a sua tarefa, o que corresponde a mais ou menos 9 horas e 43 minutos e são necessárias 21 cargas para este serviço.

De acordo com a Tabela 6.7, o menor custo de depreciação é alcançado pelo Pelican, à vazão de 4 L/ha e na área de 10 hectares, que corresponde a R\$ 5,15, somente. Este baixo custo é associado ao menor preço estimado do VANT, de R\$ 250.000,00.

Os maiores valores pagos de taxa de juros ocorrem também sob a aeronave Thrush, R\$ 6.775,60, na área de 1.000 hectares, à uma dosagem de 40 L/ha, como pode ser visto na Tabela 6.8. No entanto, o VANT mais barato é o que apresenta a menor taxa de descapitalização, na área de 10 hectares, sob a vazão de 4 L/ha. A mesma relação acontece com os valores de seguros, segundo a Tabela 6.9.

Analisando os gastos com mão-de-obra, o modelo que apresentou o maior custo foi o Pelican, na área de 1000 hectares, a uma vazão de 40 L/ha, que corresponde a R\$ 3.324,60, conforme expresso na Tabela 6.10. Por outro lado, o Air Tractor mostrou o menor valor de custos com mão-de-obra, R\$ 90,73, na área de 10 hectares, em todas as vazões supostas.

Os custos com hangaragem, de acordo com a Tabela 6.11, foram maiores quando usa-se o VANT, na vazão de 40 L/ha para uma área de 1.000 hectares, que corresponde a R\$ 242,62. Em contrapartida, obtém-se o menor gasto com mão-de-obra no modelo Air Tractor, custando apenas R\$ 5,87 na realização de sua missão.

6.4 Custos Variáveis

Os custos variáveis dependem diretamente da área pulverizada ou do tempo gasto para pulverizá-las. Assim, é necessário analisar todos eles em função do cenário suposto (áreas de 10, 100 e 1.000 hectares), modelos das aeronaves e vazão de aplicação.

Assim, foi analisado o faturamento da empresa, de acordo com o valor recebido por hectare pulverizado. Logo após, faz-se a diferença entre todos os ganhos e todos os custos para encontrar os resultados (lucros ou prejuízos) que a empresa teve em cada área, de acordo com cada dosagem de defensivo agrícola.

Tabela 6.12 – Custos com combustível

Aeronaves	Área de 10 hectares			Área de 100 hectares			Área de 1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 267,33	R\$ 267,33	R\$ 267,33	R\$ 878,26	R\$ 926,51	R\$ 1.023,00	R\$ 4.112,00	R\$ 4.642,70	R\$ 5.800,70
Thrush 510P	R\$ 299,18	R\$ 299,18	R\$ 299,18	R\$ 877,55	R\$ 877,55	R\$ 1.053,20	R\$ 4.058,80	R\$ 4.497,80	R\$ 5.639,30
Air Tractor 502B	R\$ 259,84	R\$ 259,84	R\$ 259,84	R\$ 763,47	R\$ 763,47	R\$ 928,07	R\$ 3.662,20	R\$ 4.073,70	R\$ 5.225,90

Fonte: Autores

Para pulverizar a área de 10 hectares, o consumo de combustível é o mesmo, independente da vazão de produto fitossanitário (4 L/ha, 15 L/ha ou 40 L/ha) para todas aeronaves e, conseqüentemente, o custo é similar, como pode ser visualizado na Tabela 6.12. Isso porque, a aeronave precisa apenas de uma carga, ou seja, não é necessário o reabastecimento. Logo, nesta situação, as aeronaves possuem os menores valores de custos com combustível.

Os modelos Thrush e Air Tractor apresentam os mesmos custos com combustível na área de 100 hectares, para as vazões de 4 e 15 L/ha. Isso se explica pelo número de cargas das aeronaves ser o mesmo nestas duas dosagens. Ambas gastam apenas um tanque para pulverizar toda a área proposta, como pode ser comprovado nos Anexos A e B.

Entre os três modelos, o Ipanema 202A obteve o maior gasto com combustível, para a pulverização de uma área de 1.000 hectares, a uma vazão de 40 L/ha. Nesta mesma área e dosagem, em conformidade com o Anexo ??, o Ipanema precisa de 39 recargas, enquanto o Thrush realiza 21 cargas (Anexo A) e o Air Tractor 22 (Anexo B). Logo, torna-se evidente que o Ipanema gasta uma maior quantidade de combustível e, conseqüentemente, tem o maior gasto, de R\$ 5.800,70.

Tabela 6.13 – Custos com energia elétrica do Pelican

	Área de 10 hectares			Área de 100 hectares			Área de 1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
VANT	R\$ 31,81	R\$ 31,81	R\$ 34,82	R\$ 127,45	R\$ 130,47	R\$ 151,55	R\$ 721,21	R\$ 790,48	R\$ 986,23

Fonte: Autores

Os maiores custos com energia elétrica ocorrem na área de 1.000 hectares, a uma vazão de 40 L/ha, no valor de R\$ 986,23, de acordo com a Tabela 6.13. Contudo, este valor ainda é muito inferior ao maior custo com combustível da aeronave Ipanema (R\$ 5.800,70).

Tabela 6.14 – Impostos pagos

Modelos das aeronaves	Impostos por hectare (R\$/ha)	Impostos para a área de 10 ha (R\$)	Impostos para a área de 100 ha (R\$)	Impostos para a área de 1000 ha (R\$)
Ipanema 202A	3,90	39,00	390,00	3.900,00
Thrush 510P	5,54	55,4	554,00	5.540,00
Air Tractor 502B	5,00	50,00	500,00	5.000,00
Vant	4,81	48,10	481,00	4.810,00

Fonte: Autores

Os preços dos impostos cobrados por hectare foram retirados da Tabela 4.5. Como percebe-se na Tabela 6.14, os impostos aumentaram à medida que a área a ser pulverizada se expandiu, independentemente da vazão de produto aplicado. Isso se justifica porque, nesse caso, as tarifas estão em função da área somente. Logo, quanto maior a cultura, maior é o preço do imposto.

Tabela 6.15 – Custos com mão-de-obra do piloto agrícola

Modelos das aeronaves	Área de 10 hectares	Área de 100 hectares	Área de 1000 hectares
Ipanema 202A	R\$ 70,00	R\$ 700,00	R\$ 7.000,00
Thrush 510P	R\$ 70,00	R\$ 700,00	R\$ 7.000,00
Air Tractor 502B	R\$ 70,00	R\$ 700,00	R\$ 7.000,00

Fonte: Autores

A comissão do piloto é proporcional ao tamanho da área pulverizada para qualquer modelo de aeronave agrícola. Por isso, na área de 1.000 hectares, tem-se o maior comissão paga, de R\$ 7.000,00, observado na Tabela 6.15.

Tabela 6.16 – Custos com manutenção/revisão das aeronaves

Aeronaves	Área de 10 hectares			Área de 100 hectares			Área de 1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 42,55	R\$ 42,55	R\$ 42,55	R\$ 125,61	R\$ 138,38	R\$ 163,91	R\$ 583,86	R\$ 724,31	R\$ 1.030,70
Thrush 510P	R\$ 55,93	R\$ 55,93	R\$ 55,93	R\$ 133,82	R\$ 133,82	R\$ 188,76	R\$ 593,52	R\$ 730,87	R\$ 1.088,00
Air Tractor 502B	R\$ 49,82	R\$ 49,82	R\$ 49,82	R\$ 117,65	R\$ 117,65	R\$ 169,48	R\$ 537,68	R\$ 667,26	R\$ 1.030,10

Fonte: Autores

Da Tabela 6.16, nota-se que, para a pulverização da área de 10 hectares, não há variação dos custos com revisão à medida que aumenta-se a vazão do produto fitossanitário, fato que ocorre com todas as aeronaves. Os aviões Thrush e Air Tractor ainda possuem o mesmo custo na área de 100 hectares, com vazões de 4 L/ha e 15 L/ha, porque o número de cargas é mantido.

O Thrush foi o modelo que apresentou a manutenção mais dispendiosa, R\$ 1.088,00, com vazão de 40 L/ha na pulverização de uma área de 1.000 hectares. Já o Ipanema e o Air Tractor tiveram o mesmo valor de manutenção na área de 1.000 ha a uma taxa de dispersão de 40 L/ha, ambos com R\$ 1.030,10. Não houve uma diferença relevante entre os custos.

Tabela 6.17 – Somatório de todos os custos operacionais

Aeronaves	10 hectares			100 hectares			1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 904,64	R\$ 904,64	R\$ 904,64	R\$ 3.527,80	R\$ 3.734,60	R\$ 4.148,10	R\$ 22.261,00	R\$ 24.536,00	R\$ 29.498,00
Thrush 510P	R\$ 1.380,60	R\$ 1.380,60	R\$ 1.380,60	R\$ 4.418,90	R\$ 4.418,90	R\$ 5.533,60	R\$ 26.743,00	R\$ 29.530,00	R\$ 36.776,00
Air Tractor 502B	R\$ 1.153,20	R\$ 1.153,20	R\$ 1.153,20	R\$ 3.789,50	R\$ 3.789,50	R\$ 4.758,60	R\$ 24.008,00	R\$ 26.430,00	R\$ 33.214,00
VANT	R\$ 198,62	R\$ 198,62	R\$ 219,67	R\$ 1.055,50	R\$ 1.097,60	R\$ 1.244,90	R\$ 8.053,80	R\$ 8.664,30	R\$ 10.032,00
	R\$ 225,81	R\$ 225,81	R\$ 250,99	R\$ 1.158,60	R\$ 1.209,00	R\$ 1.385,20	R\$ 8.635,90	R\$ 9.366,10	R\$ 11.003,00
	R\$ 271,14	R\$ 271,14	R\$ 303,20	R\$ 1.330,40	R\$ 1.394,60	R\$ 1.619,10	R\$ 9.605,90	R\$ 10.536,00	R\$ 12.620,00

Fonte: Autores

A Tabela 6.17 mostra o somatório de todos os custos (fixos e variáveis) de acordo com a área a ser pulverizada e suas respectivas vazões de defensivo agrícola. Como era de se esperar, pelas análises das tabelas anteriores, a aeronave de maior custo foi a Thrush 510P, na área de 1.000 hectares a uma vazão de 40 L/ha, que totaliza R\$ 36.776,00 de gastos durante sua missão.

O modelo que se mostrou mais viável economicamente foi o VANT, quando se considera o preço de R\$ 250.000,00, na área de 10 hectares, nas vazões de 4 L/ha e 15 L/ha.

Tabela 6.18 – Faturamento da empresa pelos serviços prestados

	10 hectares			100 hectares			1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Aeronaves agrícolas	R\$ 276,00	R\$ 389,50	R\$ 486,90	R\$ 2.760,00	R\$ 3.895,00	R\$ 4.869,00	R\$ 27.600,00	R\$ 38.950,00	R\$ 48.690,00
VANT	R\$ 276,00	R\$ 389,50	R\$ 486,90	R\$ 2.760,00	R\$ 3.895,00	R\$ 4.869,00	R\$ 27.600,00	R\$ 38.950,00	R\$ 48.690,00

Fonte: Autores

Os ganhos da empresa aeroagrícola devem-se ao preço cobrado por hectare. Os maiores faturamentos são alcançados à medida que se eleva o tamanho da área e a taxa de aplicação do produto, que podem ser visualizados na Tabela 6.18.

O maior faturamento ocorre na pulverização de uma área de 1.000 hectares a uma vazão de 40 L/ha, utilizando alguma aeronave agrícola ou o Pelican.

Tabela 6.19 – Lucros e prejuízos da empresa aeroagrícola

Aeronaves	10 hectares			100 hectares			1000 hectares		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)
Ipanema 202A	R\$ 628,64	R\$ 515,14	R\$ 417,74	R\$ 767,80	R\$ 160,40	R\$ 720,90	R\$ 5.339,00	R\$ 14.414,00	R\$ 19.192,00
Thrush 510P	R\$ 1.104,60	R\$ 991,10	R\$ 893,70	R\$ 1.658,90	R\$ 523,90	R\$ 664,60	R\$ 857,00	R\$ 9.420,00	R\$ 11.914,00
Air Tractor 502B	R\$ 877,20	R\$ 763,70	R\$ 666,30	R\$ 1.029,50	R\$ 105,50	R\$ 110,40	R\$ 3.592,00	R\$ 12.520,00	R\$ 15.476,00
VANT	R\$ 77,38	R\$ 190,88	R\$ 267,23	R\$ 1.704,50	R\$ 2.797,40	R\$ 3.624,10	R\$ 19.546,20	R\$ 30.285,70	R\$ 38.658,00
	R\$ 50,19	R\$ 163,69	R\$ 235,91	R\$ 1.601,40	R\$ 2.686,00	R\$ 3.483,80	R\$ 18.964,10	R\$ 29.583,90	R\$ 37.687,00
	R\$ 4,86	R\$ 118,36	R\$ 183,70	R\$ 1.429,60	R\$ 2.500,40	R\$ 3.249,90	R\$ 17.994,10	R\$ 28.414,00	R\$ 36.070,00

Fonte: Autores

Para a pulverização de uma área de 10 hectares, com o uso de qualquer modelo de aeronave agrícola (Ipanema 202A, Thrush 510 P ou Air Tractor 502B), a empresa obteve prejuízo, independentemente da vazão escolhida (5, 15 ou 40 L/ha). Por outro lado o uso do VANT é

lucrativo para a pulverização de qualquer área a qualquer vazão. Para a maior vazão (40 L/ha), na área de 1000 hectares, ele gera um lucro para a empresa de R\$ 38.658,00, caso seu preço comercial seja R\$ 250.000,00, o que equivale a quase o dobro do lucro obtido pelo Ipanema nas mesmas área e vazão, de acordo com a Tabela 6.19.

Para a área estimada de 100 hectares, a uma vazão de 4 L/ha, a utilização de qualquer avião agrícola acarreta danos à empresa, podendo alcançar o valor negativo de R\$ 1.658,90, para a Thrush. Inclusive, esta aeronave não é indicada para esse tamanho de área, independentemente da dosagem, pois ela apenas agrega valor à empresa quando pulveriza-se a área de 1.000 hectares nas três possíveis vazões. Isso se deve, principalmente, aos seus altos custos de depreciação, taxa de descapitalização e seguro de casco.

Para pulverizar a área de 1000 hectares, em qualquer das vazões, todos os modelos geram lucro para a empresa, principalmente o VANT, que pode chegar até a um ganho de R\$ 38.658,00, conforme a Tabela 6.19.

7 CONCLUSÃO

Por meio da análise dos dados estatísticos de acidentes na aviação agrícola, foi possível concluir que os tipos de acidentes em voos de aplicação aérea formam uma categoria específica, sendo o voo aeroagrícola um perigoso segmento da aviação brasileira. Isso concorda, portanto, com as pesquisas aplicadas à aviação agrícola em outros países. Em suma, o estudo revelou que mesmo diante de um aumento nos acidentes anuais durante o período analisado, de 10 anos, a explicação dos acidentes não alterou.

Tratando-se do desempenho operacional e rendimento, diante dos resultados é possível afirmar que na maioria dos voos de aplicação, a maior parte do tempo gasto está nas curvas de retorno (balões), intensificando a chance de ocorrência de acidentes nesta fase, principalmente somando ao fato de envolver curvas preferencialmente com raio mínimo e conseqüentemente velocidade próxima a de estol da aeronave. O maior rendimento ocorre quando a distribuição de tempo gasto na missão apresenta maior porcentagem concentrada especificamente nas passadas, que são o foco da operação, e tal condição é obtida quando há menor quantidade de cargas necessárias, pois mais cargas geram aumento da porcentagem de tempo em outras fases do voo. Logo, um processo de aplicação aérea eficiente é aquele em que se minimiza o tempo gasto nos balões e se maximiza o tempo de pulverização. Diante dos resultados, o VANT se mostrou capaz de executar uma curva com raio mínimo inferior ao das demais aeronaves, contribuindo para a minimização do tempo gasto nos balões destacada anteriormente.

Outro aspecto importante é a largura da faixa de aplicação, que ao ser aumentada, reduz o número de balões e conseqüentemente reduz o tempo gasto, incrementando o rendimento, ou produtividade. No entanto, a largura da faixa de aplicação (e conseqüente deposição) depende de diversos fatores, dentre eles: aeronave empregada, tipo de produto, tamanho da gota, altura de voo, velocidade do voo, velocidade e direção do vento, acrescentando inúmeras variáveis na análise. Por outro lado, a produtividade é reduzida com o aumento da vazão, ou seja, o rendimento da aplicação é inversamente proporcional à taxa de aplicação: quanto maior for a taxa, menor o rendimento operacional. Isso é explicado pelo fato de que se o volume aplicado por hectare aumentar, mantendo-se constante a carga da aeronave, menor será a área coberta a cada carregamento.

Com base nos resultados de custos obtidos, o uso das aeronaves agrícolas tripuladas em pequenas áreas gerou prejuízo. O VANT agrícola se mostrou mais viável economicamente, independentemente da área e da vazão. Entretanto, não se pode fazer essa afirmação com

precisão, devido ao fato de que o modelo analisado ainda está sendo testado e não se tem certeza sobre seu valor de mercado, conforme foi explicitado e estipulado três supostos valores para o mesmo. A maior contribuição para a viabilidade econômica superior do VANT está relacionada aos gastos com energia elétrica serem consideravelmente inferiores aos gastos com etanol e querosene, além do custo de manutenção também inferior.

Quando se trata isoladamente do rendimento operacional, diante dos resultados pode-se afirmar que as aeronaves tripuladas superam o VANT em áreas mais extensas, e o mesmo se aproxima ou em alguns casos chega a superar as aeronaves tripuladas em áreas menores. Logo, diante da combinação dos fatos, considera-se relevante a utilização do VANT agrícola Pelican em complementação às demais aeronaves tripuladas, se adequando principalmente a áreas de aplicação menores e de difícil aplicação, visto que nesses casos sua praticidade, rendimento e economia são comprovados. Além disso, a utilização de VANTs agrícolas tanto nesse tipo de área, quanto nas demais, contribui para a diminuição dos riscos da operação e conseqüentemente redução do número de acidentes no segmento da aviação agrícola.

Finalmente, considerou-se relevante o estudo desenvolvido, por possibilitar uma possível seleção de aeronave ideal para cada extensão de área e vazão, incluindo VANTs, além também das demais conclusões obtidas.

REFERÊNCIAS

- AAAA. **Dangerous Distraction: An examination of accidents and incidents involving pilot distraction in Australia between 1997 and 2004**. Canberra, Australia: Aviation Research Investigation B2004/0324, 2004.
- ABNT. Projeto ABNT 08;020.30-009-1: aeronáutica e espaço – vocabulário – parte 1 – aeronaves. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Rio de Janeiro, 2011.
- AERO MAGAZINE. **Como fazer o balanceamento de sua aeronave**. [S.l.], 2014. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/como-fazer-o-balanceamento-de-sua-aeronave_1641.html>. Acesso em: 29 abril. 2021.
- AEROESCOLINHA. **Escolinha de Aeromodelismo**. Imperatriz - MA, 2011. Disponível em: <<http://aeroescolinha.blogspot.com/2011/01/especial-emb-202-ipanema-da-embraer.html>>. Acesso em: 02 abril. 2021.
- AEROGLOBO. **Aeronaves Air Tractor**. Botucatu - SP, 2021. Disponível em: <<http://www.aeroglobo.com.br/sitenovo/>>. Acesso em: 02 abril. 2021.
- AIRCRAFT, T. **A melhor aeronave agrícola na terra. E fora dela**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://www.thrushaircraft.com/pt/aircraft/what-makes-a-thrush.html>>. Acesso em: 29 abril. 2021.
- ALVO. **Apostila aplicação aerea alvo**. Consultoria Agrícola, 2021.
- ANAC. Regulamento brasileiro da aviação. **ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil**, Brasília, 2015.
- ANDERSON, J. D. **Aircraft performance & design**. [S.l.]: McGraw-Hill Science Engineering, 1999.
- ANTAS, L. M. **Glossário de termos técnicos**. São Paulo: Traço Editora, 1979. 756 p.
- BETE, T. S.; CONTI, M. Veículos aéreos não tripulados na agricultura para atender o objetivo de desenvolvimento sustentável da organização das nações unidas. **SINGEP – Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade**, São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3770/1/vantidentificacaopercevejosoja.pdf>>. Acesso em: 02 abril. 2021.
- BRASIL. Segundo serviço regional de investigação e prevenção de acidente aeronáuticos. SERIPA II: Boletim Informativo de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos da Região Nordeste, p. 30, 2013.
- BRASIL. **Segundo Serviço Regional de Investigação e Prevenção de Acidente Aeronáuticos**. SERIPA II: Boletim Informativo de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos da Região Nordeste, 2017. 30 p.
- CASA. **Aviation Safety Authority**. 2. ed. Casa Civil: Research and Statistics, 2014.
- COIMBRA, R. F. d. F.; CATALANO, F. M. Estudo experimental sobre pontas de asa para uma aeronave agrícola. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 99–105, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43661999000100099&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 abril. 2021.

DOORN, R. R. van. Accidents in agricultural aviation in the united states. **Aviation Psychology and Applied Human Factors**, Hogrefe Publishing, p. 33–39, 2014.

DP AVIAÇÃO. **AT-502B**. Cachoeira do Sul - RS, 2021. Disponível em: <<https://www.dpaviacao.com.br/AT-502B.php>>. Acesso em: 02 abril. 2021.

DRESCHER, M. **Manual de Piloto Agrícola Manual de Piloto Agrícola**. 1. ed. São Paulo: Bianch Pilot Training, 2012.

EMBRAER. Aviação agrícola. **Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A**, São José dos Campos, 2021. Disponível em: <<https://agricultural.embraer.com/br/pt>>. Acesso em: 28 abril. 2021.

FAA. **Aeronautical Decision Making 60-22**. Federal Aviation Administration, Washington, 1991. Disponível em: <http://rgl.faa.gov/regulatory_and_guidance_library/rgadvisorycircular.nsf/0/ccdd54376bfdf5fd862569d100733983?opendocument>. Acesso em: 27 abril. 2021.

FERRAMINAS. **Manual Pulverizador costal**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://www.ferraminas.com.br/pulverizador-costal-manual-18l-sthil-sg-20>>. Acesso em: 29 abril. 2021.

FLIGHT SAFETY AUSTRALIA. **Watch out for wires – how ag pilots can handle the ever-present threat of hitting a wire during low-level operations**. Australia, 2006. Disponível em: <<http://aod.casa.gov.au/fsa/2006/dec/38-39.pdf>>. Acesso em: 27 abril. 2021.

HOMA, J. M. **Aerodinamica e teoria de voo**. 28. ed. São Paulo: Editora ASA, 2010.

ITM. **Pyka and its self-sufficient, electric crop-spraying drone acquire \$11M seed round**. 2020. Disponível em: <<https://itmunch.com/pyka-and-its-self-sufficient-electric-crop-spraying-drone-acquire-11m-seed-round/>>. Acesso em: 02 abril. 2021.

JETPHOTOS. **Embraer EMB-202A Ipanema**. 2019. Disponível em: <<https://www.jetphotos.com/photo/9549587>>. Acesso em: 02 abril. 2021.

LI, G. et al. Factors associated with pilot error in aviation crashes. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 72, n. 1, p. 52–58, 2001.

MAQNELSON. **Laudo de conformidade técnica: Maior eficiência em pulverização de agroquímicos**. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://www.maqnelsonagricola.com.br/node/2244>>. Acesso em: 29 abril. 2021.

MATSUO, C. A. S. **Projeto de um veículo aéreo não tripulado para pulverização aeroagrícola**. Campinas, SP, 2011.

MCA 3-6. **Investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/legislacao/mca-manual-do-comando-da-aeronautica?download=154:mca-3-6-2017>>. Acesso em: 29 abril. 2021.

Ministério da Defesa. **Comando da Aeronáutica**. CENIPA. Aprova a reedição da NSCA 3-13, que dispõe sobre os Protocolos de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da Aviação Civil conduzidas pelo Estado Brasileiro: Portaria n 166/GC3, de 12 de fevereiro de 2014a,

2014a. Disponível em: <<http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/index.php/legislacao/category/1-nsca-norma-dosistema-do-comando-da-aeronautica>>. Acesso em: 20 abril. 2021.

NASCIMENTO, J. M. d. Custos: planejamento, controle e gestão na economia globalizada. **Atlas**, São Paulo, p. 384, 2001.

NEGÓCIOS Época. **Embraer faz parceria com empresa do Vale do Silício para produzir aeronave agrícola elétrica e autônoma**. 2021. Disponível em: <<https://is.gd/mtM1Vo>>. Acesso em: 02 abril. 2021.

PYKA. **Autonomous Electric Airplanes: Pelican**. 2021. Disponível em: <<https://flypyka.com/agriculture.html>>. Acesso em: 02 abril. 2021.

RASI, J. R. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em pulverização agrícola. **Pós-graduação em Engenharia Rural da Universidade Federal de Pelotas**, Rio Grande do Sul, 2008.

RASO. Relatório anual de segurança operacional. **ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil**, Brasília, 2020.

RAYMER, D. P. **Aircraft design: a conceptual approach (AIAA Education Series)**. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, 1992.

ROSKAM, J. Airplane design. **DARcorporation**, p. 72, 1985.

SABELHAUS, D. et al. Using continuous-curvature paths to generate feasible headland turn manoeuvres. **Biosystems engineering**, Elsevier, v. 116, n. 4, p. 399–409, 2013.

SADRAEY, M. H. **Aircraft design: A systems engineering approach**. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2012.

SAINTIVE, N. S. Teoria de vôo: Introdução a aerodinâmica. **Editora Asa**, São Paulo, 2011.

SALARIO. **Mecânico de Aeronaves - Salário 2021 e Mercado de Trabalho**. 2021. Disponível em: <<https://www.salario.com.br/profissao/mecanico-de-aeronaves-cbo-914105/>>. Acesso em: 02 abril. 2021.

SENAR. Congresso da aviação agrícola projeta rumos para 2020. **Serviço Nacional de Aprendizagem Rural**, Santa Catarina, 2020. Disponível em: <<http://www2.senar.com.br/Noticias/Detalhe/12021>>. Acesso em: 16 set. 2020.

SILVA, C. G. E. **Controle Cinemático da Trajetória de um VANT aplicada a Pulverização agrícola**. Lavras, MG: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica - UFLA, 2020.

SIMÃO, A. C. Acidentes nas operações aeroagrícolas: análise do fator humano. **Revista Conexão SIPAER**, v. 1, n. 3, p. 130–148, 2010.

SINDAG. **Formação dos Custos Aeroagrícolas**. Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola, 2021. Disponível em: <<https://sindag.org.br/formacao-dos-custos-aeroagricolas/>>. Acesso em: 02 abril. 2021.

SNEA; SNA. **Convecção coletiva de trabalho**. 2021. Disponível em: <https://www.aeronautas.org.br/images/CCT_Aviacao_Regular_2020-2021.pdf>. Acesso em: 02 abril. 2021.

THRUSH. **Thrush Aircraft**. 2021. Disponível em: <<https://www.thrushaircraft.com/>>. Acesso em: 02 abril. 2021.

VENSON, G. G. **Material de aula da disciplina: Desempenho de Aeronaves**. [S.l.: s.n.], 2013.

VICECONTI, P. E. V.; NEVES, S. d. Contabilidade de custos: um enfoque direto e objetivo. **Frase**, São Paulo, 2010.

ZANATTA, M.; AMARAL, F. G. Problemas suportados pelos pilotos agrícolas e suas relações com segurança e saúde ocupacional. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 4, p. 1195–1223, 2015.

ANEXO A – Desempenho operacional do Thrush 510P

THRUSH 510P	Tempo gasto (% do total) / Consumo combustivel (% do total)									
	10 ha			100 ha			1000 ha			
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	
Número de cargas	1	1	1	1	1	3	3	8	21	
Quantidade de produto	40 L	150 L	400 L	400 L	1500 L	4000 L	4000 L	15000	40000	
Tempo em solo (abastecimento + taxi)	538.95s (29.97%)			538.95s (12.5%)			1617s (8.47%)			11318 (32.3642%)
Decolagens	28.6s (1.59%) 1.35 kg (1.8%)			28.6s (0.66%) 1.35 kg (0.62%)			85.9s (1.4%) 4.05 kg (1.55%)			601s (1.7%) 28.4 kg (2%)
Subidas	81.4s (4.5%) 8.48 kg (11.4%)			81.4s (1.89%) 8.48 kg (3.9%)			244.3s (4%) 25.44 kg (9.7%)			1710s (4.89%) 178.13 kg (12.7%)
Cruzeiros	141.7s (7.9%) 8.1 kg (10.9%)			141.7s (3.3%) 8.1 kg (3.7%)			425.1s (7%) 24.36 kg (9.3%)			2976s (8.5%) 170.5 kg (12.2%)
Descidas	65.6s (3.6%) 3.75 kg (5%)			65.6s (1.5%) 3.75 kg (1.7%)			196.8s (3%) 11.3 kg (4.3%)			1377s (3.9%) 78.9 kg (5.6%)
Número de balões	18			56			176			
Tempo nas passadas	85s (4.7%) 4.87 kg (6.5%)			836.5s (19.4%) 47.9 kg (22%)			836.5s (13.78%) 47.9 kg (18.35%)			8314s (23.7%) 476.3 kg (34%)
Tempo nos balões	829.9s (46.16%) 47.5 kg (64.1%)			2582s (60%) 147.9 kg (67.97%)			2582s (42.5%) 147.9 kg (56.6%)			8115s (23%) 464.9 kg (33%)
Pousos	26.6s (1.48%) 0.063 kg (0.085%)			26.6s (0.62%) 0.063 kg (0.03%)			79.9s (1.3%) 0.19 kg (0.07%)			559s (1.6%) 1.32 kg (0.09%)
Total	1798s 74.19 kg			4301s 217.6 kg			6067s 261.1 kg			19077s 1006.5 kg
Rendimento	20.02 ha/h			83.69 ha/h			59.3 ha/h			188.7 ha/h
	153.2 ha/h			102.9 ha/h						

Fonte: Autores

ANEXO B – Rendimento operacional do Air Tractor 502B

AIR TRACTOR 502B	Tempo gasto (% do total) / Consumo combustível (% do total)																	
	10 ha			100 ha			1000 ha											
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MV)									
Número de cargas	1	1	1	1	1	3	3	8	22									
Quantidade de produto	40 L	150 L	400 L	400 L	1500 L	4000 L	4000 L	15000 L	40000 L									
Tempo em solo (abastecimento + taxi)	500.5s (31.2%)			500.5s (13.2%)			1501.7s (27.5%)			1501.7s (8.69%)			4004.4s (18.67%)			11012s (33.2%)		
Decolagens	24.8s (1.55%) 1.17 kg (1.8%)			24.8s (0.65%) 1.17 kg (0.62%)			74.3s (1.36%) 3.5 kg (1.5%)			74.3s (0.43%) 3.5 kg (0.38%)			198.3s (0.92%) 9.36 kg (0.92%)			545.4s (1.64%) 25.7 kg (1.98%)		
Subidas	61s (3.8%) 6.36 kg (9.87%)			61s (1.6%) 6.36 kg (3.36%)			183.1s (3.3%) 19 kg (8.3%)			183.1s (1.06%) 19 kg (2.1%)			488.4s (2.2%) 50.88 kg (5.04%)			1343.2s (4%) 139.9 kg (10.8%)		
Cruzeiros	153.6s (9.6%) 8.8 kg (13.66%)			153.6s (4%) 8.8 kg (4.6%)			460.8s (8.46%) 26.4 kg (11.47%)			460.8s (2.66%) 26.4 kg (2.9%)			1228.8s (5.73%) 70.4 kg (6.97%)			3379.2s (10.2%) 193.6 kg (14.9%)		
Descidas	70.2s (4.39%) 4 kg (6.2%)			70.2s (1.8%) 4 kg (2.1%)			210.7s (3.8%) 12 kg (5.2%)			210.7s (1.22%) 12 kg (1.33%)			562s (2.6%) 32.2 kg (3.19%)			1545.5s (4.66%) 88.5 kg (6.8%)		
Número de balões	16			50			158											
Tempo nas passadas	80.9s (5%) 4.64 kg (7.19%)			800s (21.1%) 45.8 kg (24.2%)			800s (14.6%) 45.8 kg (19.9%)			7994.2s (46.2%) 458 kg (50.43%)			7994.2s (37.2%) 458 kg (45.3%)			7994.2s (24.1%) 458 kg (35.3%)		
Tempo nos balões	687.5s (42.93%) 39.39 kg (61.13%)			2148.5s (56.8%) 123 kg (65%)			2148.5s (39.4%) 123 kg (53.4%)			6789.3s (39.2%) 389 kg (42.8%)			6789.3s (31.6%) 389 kg (38.5%)			6789.3s (20.5%) 389 kg (30%)		
Pousos	22.8s (1.4%) 0.05 kg (0.08%)			22.8s (0.6%) 0.05 kg (0.028%)			68.3s (1.25%) 0.16 kg (0.07%)			68.3s (0.39%) 0.16 kg (0.02%)			182.3s (0.85%) 0.43 kg (0.04%)			501.4s (1.5%) 1.18 kg (0.09%)		
Total	1601.5s 64.44 kg			3781.5s 189.3 kg			5447.6s 230.15 kg			17283s 908.2 kg			21448s 1010.2 kg			33110s 1296 kg		
Rendimento	22.5 ha/h			95.2 ha/h			66 ha/h			208.3 ha/h			167.8 ha/h			108.7 ha/h		

Fonte: Autores

ANEXO C – Rendimento operacional do VANT

VANT PELICAN	10 ha			100 ha			1000 ha		
	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MIV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MIV)	4 L/ha (UBV)	15 L/ha (BV)	40 L/ha (MIV)
Número de cargas	1	1	2	3	4	11	17	40	105
Quantidade de produto	40 L	150 L	400 L	400 L	1500 L	4000 L	4000 L	15000 L	40000 L
Tempo em solo (abastecimento + taxi)	117.3s (6.3%)		234.6s (10.98%)	351.9s (4.8%)	469.2s (6.17%)	1290.3s (13.5%)	1994.1s (4.8%)	4692s (9.8%)	12317s (18.6%)
Decolagens	9.4s (0.5%) 0.15 kW (0.5%)		18.7s (0.88%) 0.3 kW (0.98%)	28.1s (0.38%) 0.46 kW (0.4%)	37.5s (0.5%) 0.61 kW (0.52%)	103.3s (1.08%) 1.68 kW (1.25%)	159.6s (0.38%) 2.6 kW (0.4%)	375.6s (0.78%) 6.1 kW (0.87%)	986s (1.5%) 16 kW (1.83%)
Subidas	20.15s (1.08%) 0.32 kW (1.16%)		40.3s (1.88%) 0.65 kW (2.1%)	60.4s (0.82%) 0.98 kW (0.87%)	80.6s (1.06%) 1.31 kW (1.13%)	221.7s (2.3%) 3.6 kW (2.68%)	342.7s (0.82%) 5.57 kW (0.87%)	806.3s (1.68%) 13.1 kW (1.86%)	2116.7s (3.2%) 34.4 kW (3.93%)
Cruzeiros	75.4s (4%) 1.2 kW (4.3%)		150.8s (7%) 2.45 kW (7.9%)	226.2s (3%) 3.67 kW (3.25%)	301.7s (3.97%) 4.9 kW (4.2%)	829.7s (8.67%) 13.48 kW (10%)	1282.2s (3%) 20.8 kW (3.25%)	3017s (6.3%) 49 kW (7%)	7919.6s (11.97%) 128.7 kW (14.7%)
Descidas	51s (2.75%) 0.83 kW (2.9%)		102.1s (4.78%) 1.66 kW (5.37%)	153.2s (2%) 2.5 kW (2.2%)	204.3s (2.7%) 3.32 kW (2.87%)	561.8s (5.87%) 9.13 kW (6.79%)	868.3s (2.09%) 14.1 kW (2.2%)	2043.1s (4.27%) 33.2 kW (4.7%)	5363.2s (8.1%) 87.1 kW (9.95%)
Número de balões	31			96			305		
Tempo nas passadas	238.4s (12.8%) 3.87 kW (13.7%)		238.4s (11.16%) 3.87 kW (12.5%)	2335.1s (31.9%) 37.9 kW (33.5%)	2335.1s (30.7%) 37.9 kW (32.8%)	2335.1s (24.4%) 37.9 kW (28.2%)	23461s (56.7%) 381.2 kW (59.6%)	23461s (49%) 381.2 kW (54.3%)	23461s (35.4%) 381.2 kW (43.5%)
Tempo nos balões	1334s (71.9%) 21.7 kW (76.8%)		1334s (62.4%) 21.7 kW (70.16%)	4131s (56.5%) 67.1 kW (59.3%)	4131s (54.4%) 67.1 kW (58%)	4131s (43.2%) 67.1 kW (49.9%)	13125s (31.7%) 213.2 kW (33.3%)	13125s (27.4%) 213.2 kW (30.4%)	13125s (19.8%) 213.2 kW (24.3%)
Pousos	8.4s (0.45%) 0.13 kW (0.48%)		16.8s (0.78%) 0.27 kW (0.88%)	25.1s (0.34%) 0.4 kW (0.36%)	33.5s (0.44%) 0.54 kW (0.47%)	92.3s (0.96%) 1.5 kW (1.11%)	142.6s (0.34%) 2.3 kW (0.36%)	335.6s (0.7%) 5.45 kW (0.77%)	881s (1.33%) 14.3 kW (1.63%)
Total	1854.2s 28.2 kW		2135.9s 30.9 kW	7311.4s 113 kW	7593.1s 115.8 kW	9565.4s 134.5 kW	41375s 639.9 kW	47855s 701.4 kW	66169s 875 kW
Rendimento	19.4 ha/h		16.8 ha/h	49.2 ha/h	47.4 ha/h	37.6 ha/h	87 ha/h	75.2 ha/h	54.4 ha/h

Fonte: Autores