UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

SIMON SKARABONE RODRIGUES CHIACCHIO

Veículo aéreo não tripulado de asa rotativa na atividade de mapeamento e coleta de imagem na agricultura de precisão e no monitoramento de animais

Pirassununga
2017

SIMON SKARABONE RODRIGUES CHIACCHIO

Veículo aéreo não tripulado de asa rotativa na atividade de mapeamento e coleta de imagem na agricultura de precisão e no monitoramento de animais

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Gestão e Inovação da Indústria Animal

Orientador: Prof. Dr. Adriano Rogério Bruno Tech

Pirassununga

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C588v

Chiacchio, Simon Skarabone Rodrigues Chiacchio
Veículo aéreo não tripulado de asa rotativa na atividade de mapeamento e coleta de imagem na agricultura de precisão e no monitoramento de animais / Simon Skarabone Rodrigues Chiacchio Chiacchio ; orientador Adriano Rogério Bruno Tech Tech. -- Pirassununga, 2017.
87 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional Gestão e Inovação na Indústria Animal) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Agricultura de precisão. 2. Zootecnia de Precisão. 3. Agronegócio. 4. Monitoramento de Ambientes e Animais. 5. Processamento de imagens aéreas. I. Tech, Adriano Rogério Bruno Tech, orient. II. Título.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - o autor

SIMON SKARABONE RODRIGUES CHIACCHIO

Veículo aéreo não tripulado de asa rotativa na atividade de mapeamento e coleta de imagem na agricultura de precisão e no monitoramento de animais

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Gestão e Inovação da Indústria Animal

Data de aprovação ___/___/___

Banca Examinadora:

_____

Adriano Rogério Bruno Tech ï Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. FZEA ï USP - Orientador

_____

César Gonçalves de Limaï Membro da Banca Examinadora
Prof. Dr. FZEA ï USP

_____

Carlos Alberto Ferreira Bispo ï Membro da Banca Examinadora
Prof. Dr. Academia da Força Aérea - AFA

_____

Osmar Gonçalves ï Membro da Banca Examinadora
Prof. Dr. Academia da Força Aérea - AFA

DEDICATÓRIA

Aos meus amores, Enzo Chiacchio Skarabone, Sofia Chiacchio Skarabone e minha amada esposa Andréa Renata Chiacchio Skarabone, que em todos os dias, horas e momentos esteve ao meu lado, ajudando-me a enfrentar as diversas fases da construção deste trabalho.

A toda minha família, que mesmo distante em muitos momentos, sempre torceu por mim, apoiou-me e dedica-se a me ouvir e contribuir sempre.

A minha segunda mãe, Maria José, que sempre me ajudou, me deu força e esteve perto de nós todos, nos incentivando, cultivando a fé e dividindo com nossa família as alegrias que a vida nos dá.

A minha mãe Maria Aparecida Gomes, que sempre acreditou em mim e me ensinou a lutar.

AGRADECIMENTOS

Aos que tiveram oportunidade de questionar e contestar as ideias e oferecer novos ângulos, interpretações e inspirações de forma direta ou indireta.

Aos amigos, pelas valiosas críticas e sugestões durante a elaboração deste trabalho e pelo constante apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Tech, que no decorrer destes últimos anos sempre se mostrou disposto e entusiasmado nos mais diferentes projetos que iniciamos, nas discussões, orientações e conversas que tivemos; aos professores que me ofereceram todo o conhecimento e experiência, colaborando para que o trabalho se tornasse concreto.

Ao prof. Dr. Celso Carrer, Coordenador do Programa de Mestrado Profissional, por acreditar no projeto e desenvolver as mais instigantes reflexões em sala de aula, e pelas discussões acerca dos desafios de se fazer ciência com um projeto de Mestrado Profissional no Brasil.

Ao professor Dr. Guilherme Augusto Spiegel Gualazzi, amigo de profissão e de docência na Academia da Força Aérea, onde pudemos trabalhar, desenvolver projetos e grandes discussões juntos, muito obrigado pelas contribuições e por ter feito parte deste trabalho desde a banca até sua fase final.

Ao Prof. Dr. César Gonçalves de Lima além de meu professor no programa, um grande companheiro desde a qualificação até a fase final, a defesa da dissertação.

Aos professores Carlos Alberto Ferreira Bispoe Osmar Gonçalves,amigos da Academia da Força Aérea e possuidores de uma grande história no ñNinho das Águiasò

Aos grandes amigos da Academia da Força Aérea, que sempre foram amáveis e divertidos até em momentos tensos, mais importantes na formação.

Ao grupo de amigos inseparáveis dos paraboloides da AFA, onde discutimos de tudo um pouco ï formação, educação e futuro: Ten. Joseane, Ten. Giseli, Ten. Aline

Marques e Ten. Michelle Oliveira.

Em especial aos grandes amigos, os Mestres Marcelo Souza e Bruno Eduardo Teixeira, responsáveis por uma enorme parte deste projeto; que essa amizade e trabalho conjunto permaneçam sempre em atividade mesmo a distância.

À Universidade de São Paulo, que me proporcionou, por meio da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, a possibilidade de desenvolver este projeto, e que me disponibilizou enorme apoio na construção da dissertação.

Em particular um especial agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq ï nr. Processo 310314/2013-5), que foi apoiador no desenvolvimento desse trabalho.

Aos funcionários da secretaria, que sempre me ajudaram nas mais diferentes demandas, sempre com muita educação e paciência.

À Academia da Força Aérea, por me dispor de tempo para pesquisas e apoio nas necessidades inerentes à capacitação e desenvolvimento das fases do projeto.

ñ*No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.****ò***

Albert Einstein

RESUMO

CHIACCHIO, Simon Skarabone Rodrigues. **Veículo aéreo não tripulado de asa rotativa na atividade de mapeamento e coleta de imagem na agricultura de precisão e no monitoramento de animais.** 2017. 87f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, São Paulo, Pirassununga, 2017.

Atualmente, as atividades do agronegócio necessitam, como todas as demais áreas, de soluções inovadoras que potencializem as mais diferentes demandas do negócio; a agricultura de precisão é um caminho que vem se mostrando eficiente na tomada de decisão. Nos dias atuais, a aplicação do veículo aéreo não tripuladoī VANT ou também conhecido como aeronave remotamente pilotadaī ARP vem se mostrando uma crescente ferramenta de inserção dentro deste contexto e aplicação. A tomada de decisão do agricultor, seja ele de pequeno, médio ou grande porte, pode ser auxiliada com o uso de equipamentos e *softwares* que vêm se tornando uma prática usual tanto nas atividades da agricultura como em outras tantas, isso devido a sua fácil aplicação, baixo custo e grande possibilidade de aplicações nas diferentes atividades do agronegócio. Os veículos de asas rotativas são, nesse contexto de uso, atrelados a aplicativos específicos, uma solução eficaz na gestão de diferentes culturas e atividades no agronegócio. Os resultados observados com os voos realizados, com as coletas de imagens, bem como o mapeamento de culturas e propriedades rurais se mostraram satisfatórios ao longo da pesquisa, tanto na forma de controle de voo manual quanto no modo autônomo de coleta de dados. Outro fator que possibilitou a pesquisa foi o uso de aplicativos de imagem e rota de voo, possibilitando cumprir os diferentes objetivos propostos na pesquisa.

Palavras-chave: Agricultura de precisão,Zootecnia de Precisão, Agronegócio, Monitoramento de Ambientes e Animais, Processamento de imagens aéreas.

ABSTRACT

CHIACCHIO, Simon Skarabone Rodrigues. **Unmanned aerial vehicle rotary-wing in the activity of mapping and image collection on precision agriculture and monitoring of animals.** 2017. 87f. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, São Paulo, Pirassununga, 2017.

Currently, the agribusiness activities require, as all other areas, innovative solutions that empower the most different demands of business; the precision agriculture is a path that has been showing efficient decision-making. Nowadays, the application of unmanned aerial vehicle UAV ī or also known as aircraft remotely piloted ī ARP has been showing a growing insertion tool within this context and application. The farmer's decision making, be he small, medium or large, can be aided with the use of equipment and software that has become an usual practice both in the activities of agriculture as in others, that due to its easy application, low cost and great possibility of applications in the different activities of the agribusiness. Rotary wing vehicles are, in this context of use, tied to specific applications, an effective solution in different management cultures and activities in agribusiness. The results observed with the flights taken, with collections of images, as well as the mapping of cultures and rural properties have proven satisfactory throughout the research, both in the form of manual flight control mode of collection of data, another factor that enabled the research was the use of imaging applications and flight path, in this way, it was possible to accomplish the different objectives proposed in the research.

Keywords: Precision agriculture, Animal husbandry, Agribusiness, Monitoring of Environments and Animals, Processing of aerial images.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação de ataque aéreo realizado por balões, Rússia, 1880.....25
Figura 2. Fotografia tirada com uma câmera acoplada a uma pipa. São Francisco, após terremoto de 1906.....26
Figura 3. Fotografia aérea da Praia das Fontes, Beberibe ï CE, tirada por pipa.....27
Figura 4. Protótipo da aeronave *Aphrodite* levantando voo.....28
Figura 5. OQ-1 o primeiro VANT de rádio controlado.....29
Figura 6. Quadrirrotor, *Bréguet-RichetQuad-Rotor Helicopter*.....30
Figura 7. Quadrirrotor *OemichenNo.2*.....32
Figura 8. Quadrirrotor *Convertawings Model A*.....33
Figura 9. MQ1 Predator.....38
Figura 10. Gray-Eagle.....38
Figura 11. MQ-9 Reaper.....38
Figura 12.UCAV X-47 da Northrop Gumman.....39
Figura 13. UCAV X-45 da Boeing.....40
Figura 14. Aeronaves militares.....41
Figura 15. Imagens aéreas de plantações(a).....49
Figura 16. Imagens aéreas de plantações(b).....50
Figura 17. Imagens aéreas de plantações(c) 51
Figura 18. Imagens aéreas de plantações(d).....51
Figura 19. Imagens aéreas de plantações e captura de falhas na plantação.....52
Figura 20. Imagem Hiperespectral típica.....53
Figura 21. Imagem térmica.....54
Figura 22. Forças na asa em movimento.....59
Figura 23. Diagrama de forças.....60
Figura 24. *Parrot Bepope Skycontroller (a*).....61
Figura 25. *Parrot Bepope Skycontroller (b)**é** ..é é é é é é é é é é é é é é ..é .*61
Figura 26. *Parrot Bepope Skycontroller (c)*.....63
Figura 27. *Software Mission Planner*.....63
Figura 28. Inclusão de pontos em sistema do *Software Mission Planner*.....64
Figura 29. Teste de captação de imagem de pastagem.....73

Figura 30. Teste de captação de imagem, rotas de acesso e capacidade hídrica local.....73
Figura 31. Teste de captação de imagem, rebanho, deslocamento e pastagem.....74
Figura 32. Captação de imagem de pastagem e rebanho e deslocamento no pasto (a).....75
Figura 33. Captação de imagem de pastagem e rebanho e deslocamento no pasto (b).....75
Figura 34. Captação de imagem de pastagem.....76
Figura 35. Captação de imagem de pastagem e capacidade hídrica e via de acesso.....76
Figura 36. Captação de imagem de pastagem e capacidade hídrica com via de acesso 77
Figura 37. Captação de imagem de vegetação da localidade próxima aos acessos.....78
Figura 38. Captação de imagem de vegetação da localidade, proximidade ao centro.....78
Figura 39. Captação de imagem de vegetação da localidade, visão global da pastagem.....79
Figura 40. Captação de imagem de vegetação da localidade e perspectiva da capacidade hídrica.....79
Figura 41. Captação de imagem de vegetação da localidade e perspectiva da capacidade hídrica e leito do rio, verificação de APP, levantamento topográfico.....80
Figura 42. Captação de imagem de monitoramento de rebanho.....80
Figura 43. Captação de imagem de monitoramento de APP e erosão do solo.....81
Figura 44. Levantamento de falhas na plantação e monitoramento de culturas.....81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolução dos Veículos Aéreos não tripulados.....35

Gráfico 2. Evolução histórica de investimentos em VANT.....36

LISTA DE TABELAS

Quadro 1. Missões em Ciências da Terra.....45

Quadro 2. Gestão de Território e Missões Costeiras.....45

Quadro 3. Missões para Segurança Pública 46

Quadro 4. Etapas da pesquisa.....57

Quadro 5. Informações técnicas da aeronave.....62

Quadro 6. Informações gerais das missões de voo com VANT em modalidade manual e autônoma.....67

SUMÁRIO

RESUMO.....7

1. INTRODUÇÃO 15

1.1. A inovação no uso do VANT na agricultura de precisão 19

1.2. Objetivos gerais.....20

1.2.1. Objetivos específicos.....21

1.3. Justificativa.....21

1.4. Problema de pesquisa.....23

2. REVISÃO DA LITERATURA 25

2.1. Breve histórico e definição de VANT.....25

2.1.2. História do quadrirrotor.....30

2.2 Operações militares com VANT 33

2.3. Uso do VANT como ferramenta de auxílio na agricultura de precisão 42

2.3.1. Uso de VANT na coleta de imagens.....47

3. MATERIAL E MÉTODOS 56

3.1. Material.....56

3.2. Caminho metodológico.....56

3.2.1. Modalidade de voo manual e autônomo.....58

3.2.2. Materiais.....60

3.2.3. Mission Planner.....63

3.2.4. Missões executadas.....65

3.2.5. Áreas de monitoramento e execução das missões 70

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 71

5. CONCLUSÕES 83

REFERÊNCIAS 85

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as atividades de produção ligadas ao agronegócio vêm ganhando, cada vez mais, um novo significado em relação às diferentes demandas, como segurança, mapeamento ambiental, mapeamento de área plantada, construção de mapas em 3D, monitoramento de rebanho, monitoramento de culturas, dentre outras.

Todas essas atividades são ações que podem ser desenvolvidas por equipamentos remotos, em sua grande maioria por meio de Veículo Aéreo não Tripulado, ou simplesmente VANT, sendo eles de asa fixa ou rotativa.

Nos últimos anos, tem havido um crescente desejo de buscar novas tecnologias, a fim de aproximar o produtor e o gestor do agronegócio às novas demandas de produção, qualidade e gestão de negócios nas diferentes atividades, bem como a implementação de serviços de mapeamento como forma de melhorar as diferentes atividades do setor produtivo.

Ao longo dos anos, essas atividades de gestão vêm sendo supridas de várias maneiras, uma vez que há diferentes perfis de produtores e gestores do negócio e, também, muitas vezes,há conhecimento e acesso restritos às novas soluções para o agronegócio.

É possível compreender que o perfil e o conhecimento do agricultor podem facilitar ou não essa aproximação às novas ferramentas de gestão, então, isso vai depender muito do tipo de cultura e, principalmente, do tamanho da produção e dos recursos disponíveis pelo produtor na tomada de decisão em busca de novas tecnologias e ferramentas.

A inovação na agricultura de precisão tem sido um campo de grandes avanços e de implementação e inclusão de novos negócios. Essa atividade, desde seu início, tem despertado grande interesse no produtor.

Atualmente, a busca de inovação no campo é uma demanda crescente no que tange à adaptação e inclusão no processo produtivo na área agrícola.

As diferentes soluções e estratégias na gestão do agronegócio têm favorecido a inserção de novas tecnologias e, dentre elas, a utilização e a aplicação dos veículos aéreos não tripulados (VANT) vem ganhando especial atenção nas atividades inerentes ao agronegócio e tem crescido significativamente, não só no Brasil, mas no mundo todo (JORGE; INAMASU, 2011).

Diante disso, passa a ser uma necessidade a busca por novas informações, soluções e aplicações para atender às novas possibilidades. Os veículos aéreos têm sido uma nova possibilidade para as demandas do campo (JORGE; INAMASU, 2011). As características do campo, antes voltadas para a produção e para o conhecimento da terra, nas últimas décadas passaram a vislumbrar também a tecnologia, inovação e gestão na agricultura de precisão, como soluções para a maximização da produção e da visão mais ampla do negócio.

Segundo Jorge e Inamasu (2011), o processo que vem fortalecendo o desenvolvimento do VANT surge como um importante promotor de novas atividades na agricultura de precisão. A sua aplicação na área agrícola, além de favorecer atividades antes complexas, promove novos estudos e desafios.

De acordo com Medeiros (2007), as inúmeras pesquisas nos últimos quinze anos no Brasil ainda podem ser consideradas incipientes, e o principal trabalho com VANT tem no escopo as aplicações de segurança e defesa; no entanto, atualmente vêm sendo utilizadas na vigilância de propriedades, inspeção de linhas de transmissão de energia, monitoramento de produção e colheita, atividades de áreas agrícolas, acompanhamento de safra, controle de pragas e de queimada(JORGE; INAMASU, 2011).

Há que se desenvolver novas aplicações, considerando que muitas no campo militar já estão sendo desenvolvidas em diversos países, comprovando, assim, uma enorme aplicação no uso de VANT.

No Brasil, essas novas demandas no campo civil vêm sendo supridas principalmente por aeronaves não tripuladas (VANT). Por meio desses equipamentos, os produtores podem atender às suas mais diferentes

demandas,com custo operacional favorável, se comparado às aeronaves tripuladas (MEDEIROS, 2007; JORGE; INAMASU,2011).

Com o aumento dessas atividades,aumentaram também a preocupação e a necessidade de regulamentação do setor, que no espaço aéreo brasileiro é atendida por duas entidades federais: a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo da Aeronáutica (DECEA).

A ANAC emite autorizações genéricas para aeronaves, empresas aéreas e pilotos e o DECEA autoriza e controla voos específicos no espaço aéreo do país.

No tocante ao VANT, a ANAC atualmente autoriza voos experimentais para pesquisa e desenvolvimento, e o DECEA, a sua efetivação em espaços segregados (não compartilhados com aeronaves pilotadas).É nesse contexto que as demandas para a utilização e aplicação de novos serviços e soluções para o agricultor vêm crescendo (MEDEIROS, 2007; JORGE; INAMASU, 2011;DECEA, 2013).

Considerando-se a necessidade de operação, o uso experimental de VANT, independente de suas características técnicas, deve-se solicitar à ANAC a emissão de um Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE), conforme as seções 21.191 e 21.193 do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil n° 21 ï RBAC 21.Com essa autorização, o gestor das atividades de mapeamento pode fazer uso das diferentes aplicações e atividades inerentes ao uso do VANT, e dessa forma pode explorar a atividade, considerando-se as especificidades de uso (DECEA, 2013).

A Instrução Suplementar 21-002 Revisão A, intitulada ñEmissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripuladosò, orienta a emissão de CAVE para Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), com o propósito de pesquisa e desenvolvimento, treinamento e pesquisa de mercado.

Essa medida faz parte de um processo que vem sendo desenvolvido pela Agência, no sentido de adotar no país uma ampla regulamentação para todos os tipos de voos e aplicações de VANT no espaço aéreo brasileiro.

Tais medidas também vêm sendo empreendidas em praticamente todos os países que ainda não permitem voos de VANT de forma indiscriminada em seus

espaços aéreos, hoje são permitidos voos com determinadas altitudes e particularidades de localização, porte da aeronave, entre outras questões técnicas.

Compreende-se, então, que há inúmeros desafios na aplicação, desenvolvimento e uso de VANT. Para Jorge e Inamasu (2011), em particular,existem vários desafios e perspectivas para a agricultura no Brasil, hoje, mas acredita-se que esse é um caminho sem volta, pois outras perspectivas são criadas a partir desse novo cenário.

Nesse sentido, destaca-se o monitoramento de recursos naturais, meio ambiente, atmosfera, mapeamento hiperespectral, aferição e levantamento de rios e lagos, bem como mapeamento de diferentes atividades agroindustriais e uso do solo.

Como componente de atividade para auxiliar a agricultura de precisão, os pesquisadores salientam que, para a implementação de sensores, o padrão espectral da vegetação apresenta uma série de padrões utilizados e possíveis na atividade de mapeamento, quando o objetivo é fazer esse levantamento por meio de imagem ou tratamento de imagem; isso, em diferentes estágios do plantio.

De acordo com os da pesquisa, nas diferentes atividades agrícolas, em especial as relativas às necessidades e sistemas de sensores,o comprimento de onda na região visível do espectro eletromagnético, a refletância (medida proporcional da radiação refletida por um objeto) têm relação com os pigmentos fotossintéticos como: clorofila a, clorofila xantofilas, antocianinas e carotenóides (JORGE; INAMASU, 2011).

Em suma, essas são algumas das diferentes aplicações possíveis para a atividade desenvolvida por VANT e sensores, além de outros aplicativos embarcados no equipamento.

1.1. A inovação no uso do VANT na agricultura de precisão

O Brasil ocupa uma posição de destaque no agronegócio mundial, e vem desenvolvendo novas perspectivas no que tange ao processo de inovação na área.

Destacam-se nesse contexto os programas de pesquisa e desenvolvimento, melhoramento genético de plantas, métodos e técnicas de cultivo inovadoras, mecanização, entre outros (ANSELMI, 2015).

No contexto de inovações na agricultura de precisão, projetos de mapeamento, levantamento topográfico, bem como as diferentes aplicações esperadas e desenvolvidas nas últimas duas décadas são exemplos claros de inovação no setor.

A implementação de diferentes aeronaves é um exemplo prático de atividade que pode ser aprimorada como serviço para o produtor rural, o gestor de propriedade, bem como diferentes agentes do agronegócio (MEDEIROS, 2007; JORGE, 2011).

As figuras que serão apresentadas na seção três, Material e Métodos são exemplos de equipamentos que foram utilizados nas aplicações de desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

Essas aeronaves têm diferentes características e especificações técnicas; no entanto, cumpriram todas as missões utilizando os mesmos dispositivos e sensores.

Como referência para o presente trabalho, foram consideradas as definições de Anselmi (2012):

> [...] agricultura de precisão é um conjunto de ferramentas aplicadas à agricultura que possibilitam fazer a gestão da produção agrícola, complementando a variabilidade espacial e temporal dos campos de cultivo, para incrementar a produção, melhorar o retorno econômico e reduzir os impactos ambientais. (ANSELMI, 2012, p, 15).

Nesta pesquisa,compreendendo melhor a área do saber, bem como suas conexões com as demais áreas, adota-se também a perspectiva sobre a agricultura

de precisão, conforme Anselmi (2012), uma vez que consegue abranger um aspecto de magnitude macro, no que se refere ao meio ambiente, produção e gestão da produção.

Adotar novas tecnologias e soluções, como, por exemplo, o VANT, não é tão simples. Pesquisadores salientam que, mesmo com uma infinidade de ferramentas, como Sistema de Navegação por Satélite (GNSS), onde se tem informações valiosas, como longitude, latitude, mapa de colheita ou de produtividade (MPC), ou amostra do solo georreferenciada (ASG), sistema de sensoriamento remoto (SER) e piloto automático (PAT), entre outros sistemas que auxiliam e potencializam as mais diferentes demandas, houve no Brasil uma difusão mais lenta do que se esperava.

Compreende-se que hoje a procura e a forte demanda por soluções inovadoras podem estar relacionadas à lenta adoção das diferentes tecnologias e soluções para a Agricultura de Precisão (AP). Outros fatores relevantes são:falta de acesso à informação e tecnologia, e de mão de obra especializada, entre outros fatores determinantes.

Diante do apresentado, considera-se no trabalho desenvolvido um viés inovador, na perspectiva de uma recente aplicação, considerando, ainda, que novas e diferentes inserções das aeronaves remotamente pilotadas (ARP e/ou VANT) podem ser utilizadas nas mais simples e mais complexas missões de voo, com o objetivo de ampliar ainda mais o monitoramento na agricultura de precisão.

1.2. Objetivos gerais

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar uma proposta de aplicação de aeronave não tripulada de asas rotativas para o monitoramento e mapeamento ambiental em áreas de plantio, bem como compreender as diferentes demandas e utilização desses equipamentos na implementação no agronegócio e no monitoramento de animais.

1.2.1. Objetivos específicos

a) Apresentar algumas aplicações do VANT de asas rotativas na agricultura de precisão.
b) Compreender as potencialidades do VANT nas diferentes atividades do campo,principalmente no mapeamento e monitoramento de culturas e de rebanho.
c) Desenvolver aplicações práticas de voo com testes de coleta de imagem e tratamento de imagem, com o uso de soluções tecnológicas com característica autônoma.

1.3. Justificativa

Atualmente, as produções agrícolas desenvolvem serviços de monitoramento e mapeamento em sua grande maioria com veículos aéreos tripulados, resultando em custos elevados.

Visando difundir essa prática e apresentar novas propostas para tal demanda, o trabalho se faz necessário, em linhas gerais, e teve por finalidade fomentar o uso dessas ferramentas, a fim de possibilitar ao produtor um aumento da eficiência produtiva na gestão de seu negócio.

Com base no manejo diferenciado, a AP vem adotando novas formas de aplicação de VANT (Mantovani *et* al., 1998), e podem, de maneira pontual, atuar como uma ferramenta para o produtor rural,em propriedades de pequeno, médio ou grande porte.

De acordo com as pesquisas mais recentes há uma vasta possibilidade de aplicações de VANT e do sistema de sensoriamento remoto, e das quais citam-se alguns exemplos:

a) monitoramento de safras e suas fases;
b) gestão da produção em diferentes culturas;
c) prospecção de logística da produção;
d) estimativa de produção;
e) segurança;

f) mapeamento ambiental;
g) mapeamento de área plantada;
h) construção de mapas em 3D;
i) monitoramento de rebanho;
j) detecção de falhas de plantio;
k) estresse hídrico;
l) nutrição da plantação, dentre outras aplicações.

Pensar em todas essas atividades antes da aplicação de VANT é considerar o alto custo dessa gestão, e a sua implementação pode ser uma fase mais simples se feita de maneira gradativa e utilizando os produtores que já possuem esses equipamentos e sistemas de controle na gestão da produção em suas propriedades e negócios.

Diante desse cenário, é de suma importância desenvolver novas propostas que visem ajustar o orçamento e adequar o custo operacional dessas novas tecnologias de gestão.

Assim, uma proposta recomendável para algumas das atividades apresentadas é justamente a adoção e implementação de aeronaves não tripuladas, em particular as de asas rotativas, que em diferentes finalidades podem agregar grande valor ao negócio através de uma implantação estruturada e consciente, tornando sua aplicação um caminho mais eficiente sob o ponto de vista técnico e financeiro, para tal necessidade produtiva.

No contexto ambiental, o uso de VANT, atrelado às técnicas de processamento de imagens, tem tido grande avanço nas mais recentes pesquisas no Brasil e no mundo.

Para os autores que vêm desenvolvendo pesquisas nesse contexto, o uso é principalmente na vegetação e os valores são obtidos a partir de manipulação matemática de medidas da refletância espectral, que podem ser utilizados para diferentes fins.

Outra vertente está na estimativa de biomassa, evolução da cobertura vegetal e quantificação de produção, conforme destacado como ação pontual, com o uso desses equipamentos e sistemas embarcados.

Em resumo, a produção no agronegócio no Brasil vem se desenvolvendo de maneira promissora, podendo acompanhar a evolução implementada e desenvolvida em outros países. Diante disso, pode-se aplicar em sua proposta de gestão a inovação do agronegócio, desenvolvendo-se um novo aspecto da agricultura de precisão.

1.4. Problema de pesquisa

Considerando que a utilização de VANT na agroindústria no Brasil ainda é pouco difundida, quais poderiam ser as atividades a serem implementadas e potencializadas com a implantação dessa tecnologia?

Para o trabalho, partiu-se da consideração de que a utilização do VANT de asa rotativa pode reduzir significativamente os custos operacionais, isso com o uso de sistemas de monitoramento remoto em área de plantio.

Isso posto, compreende-se que, comparando-se os mesmos serviços feitos com a utilização de outras formas ou tecnologias, a utilização de veículo aéreo não tripulado pode se tornar um diferencial significativo, com maior praticidade e ganho de informações coletadas, de forma dinâmica e em tempo real, que poderá se tornar um fator preponderante no processo de tomada de decisão.

Não se deve desconsiderara possibilidade de desenvolvimento de produtos (VANT) de asa rotativa com baixo custo, mas é necessário salientar que esse caminho é desafiador e requer investimentos em pesquisa, um desafio muito grande em uma economia ainda em crescimento, ou mesmo não viável ao produtor. Vislumbra-se para esse produtor a utilização de serviços, a forma de contratação,e,assim,tornar ainda mais atrativas as diferentes soluções de aplicação tecnológica.

Nos capítulos seguintes, serão apresentadas a pesquisa desenvolvida, referencial teórico, materiais e métodos, aplicação prática e coleta de dados e imagens, bem como considerações finais e conclusões.

Diante dessa sequência de temáticas o leitor poderá ter maior aprofundamento no universo dos equipamentos e tecnologias que já estão difundidas nas mais diferentes aplicações no meio militar e no agronegócio, com o foco em mapeamento e monitoramento de animais.

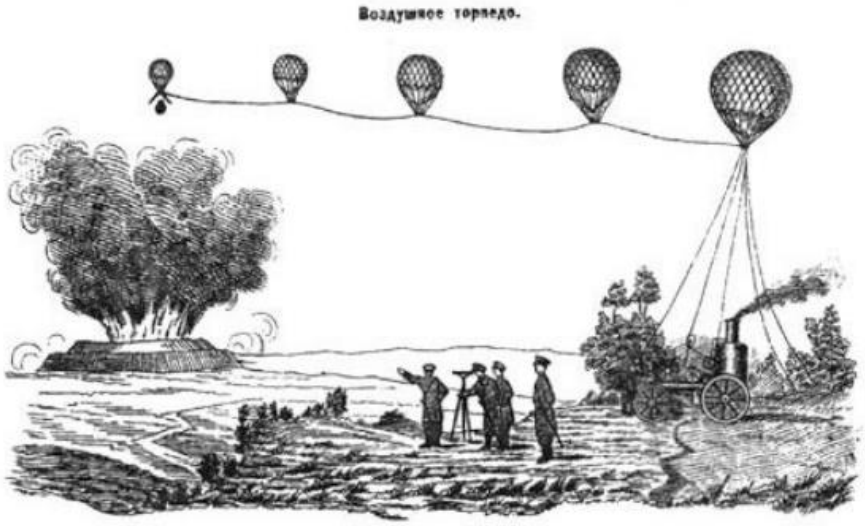
2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Breve histórico e definição de VANT

A história dos veículos aéreos não tripulados, conhecidos como VANT, pode ser contada com o enfoque militar, pois é nesse cenário que foi desenvolvido e tomou força até os dias atuais. O conceito de VANT advém da época da guerra, onde os exércitos lançavam balões uns contra os outros e utilizavam a força dos ventos para conseguirem, de forma guiada, derrubar explosivos em seus alvos (LATCHMAN, 2003).

Na Figura 1 é possível visualizar como o processo descrito era executado, onde o intuito era atingir de maneira distante o alvo pretendido, de forma a não se expor no cumprimento da missão.

Figura 1ï Representação de ataque aéreo realizado por balões, Rússia, 1880



Бомбардировка с аэростата. "Воздушное торпедо" О. С. Костовича.

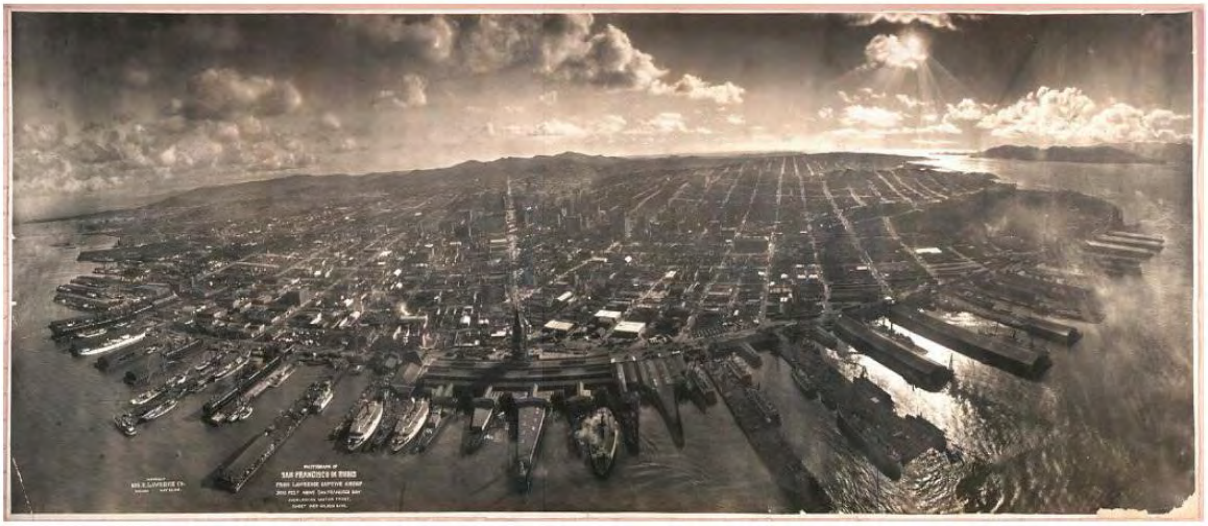
Fonte: LONGHITANO, G, A. **VANTS para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na navegação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) ï Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 09.

Segundo Cox *et al*., (2004), em 1915 foi inserido no meio da aviação o conceito de voo não tripulado, introduzido por Nicola Tesla (U.S. ARMY, 2010).

Dentro desse contexto histórico, somente no ano de 1916esses testes tiveram início, e posteriormente se firmaram no cenário mundial (CHAVES; CUGNASCA, 2012).

Em relação ao exposto, na Figura 2 é possível identificar outra forma de se obter imagens, e, considerando as limitações e custos, essas foram conseguidas com pipas e equipamentos embarcados.

Figura 2ï Fotografia tirada com uma câmera acoplada a uma pipa. São Francisco, após terremoto de 1906



Fonte: LONGHITANO, G, A. **VANTS para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na navegação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) ï Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p.10.

De acordo com o apresentado, a Figura 2apresenta um exemplo de resultado de atividades desenvolvidas com a mesma finalidade do VANT atual, que, nesse caso, é obter imagens e informações por meio das imagens específicas, que de alguma forma possam servir para a tomada de decisão, seja na verificação de problemas ambientais ou somente de monitoramento.

As pipas são as mais simples das plataformas de trabalho de imagem e de captura de informações ambientais, pois necessitam basicamente de uma estrutura de armação e papel especial, um equipamento de captura de imagem, vento e linha para que o processo se torne eficiente.

A Figura 3 é um exemplo de fotografia comercializada e obtida com o uso de pipas, em que é possível obter as informações e identificar situações específicas do local pesquisado, no caso específico da Praia das Fontes (CE).

Figura 3ï Fotografia aérea da Praia das Fontes, Beberibe ï CE, tirada por pipa

Fonte: LONGHITANO, G, A. **VANTS para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na navegação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) ï Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 23.

Considerando essas duas imagens, é possível compreender que a qualidade e riqueza de detalhes é um chamariz para as mais diferentes aplicações e usos de VANT. Ao longo da história, as aeronaves foram desenvolvidos de diferentes naturezas, a fim de se obter o máximo de informação privilegiada, de acordo com as necessidades.

Segundo Paula (2012), por volta dos anos1930 e 1940, durante a Segunda Guerra Mundial, foio período que efetivamente houve desenvolvimento dos primeiros protótipos de VANT, sendo um deles o protótipo americano chamado de *Operation Aphrodite*.

Este protótipo consistia de um avião bombardeiro B-17G adaptado para ser controlado remotamente, sendo um fator que, sem dúvida, fomentou as novas perspectivas de utilização das aeronaves com a mesma finalidade, com a particularidade de serem controlados remotamente.

Desde aquele momento, então, as nações vêm desenvolvendo novas aeronaves com uma infinidade de aplicações.

O fator determinante para a expansão do setor foi a corrida armamentista e a 2ª Guerra Mundial, os investimentos poderiam imediatamente configurar um projeto rentável do ponto de vista do gasto global com as aeronaves e o tempo de resposta.

A Figura 4, apresenta o sobrevoo da aeronave adaptada para uso como VANT, é possível verificar como características, um avião com todas as características da aeronave comum (tripulada), com a particularidade de ser controlado por controle remoto, sem o piloto embarcado.

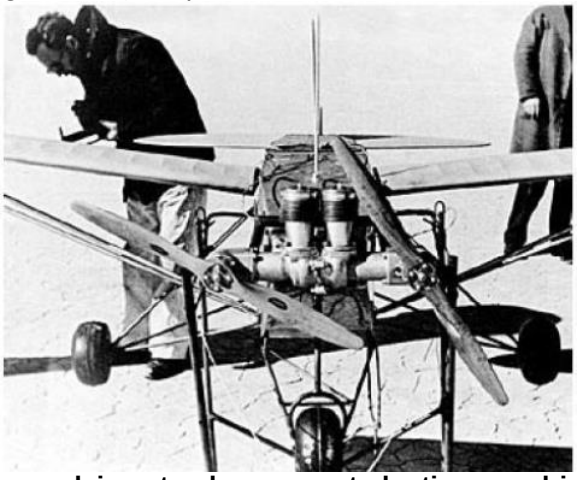
Figura 4. Protótipo da aeronave *Aphrodite* levantando voo

Fonte: PAULA, J, C. **Desenvolvimento de um vant do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definiçaoï** Curitiba, 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná 2012, p.2.

Como definição,VANT é compreendido como uma aeronave sem a necessidade de piloto embarcado, que pode ser de operação remota ou de forma autônoma, ou seja, pode cumprir uma missão de maneira autônoma, programada previamente, segundo Latchman (2003); Paula (2012), podendo ser ainda uma combinação dessas aplicações.

A Figura 5, é uma das primeiras aeronaves efetivamente planejada e desenvolvida com a finalidade de ser controlada remotamente.

Figura 5.OQ-1 o primeiro VANT de rádio controlado



Fonte: PAULA, J, C. **Desenvolvimento de um vant do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição**ï Curitiba, 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná 104f, 2012, p.2.

Em linhas gerais, os veículos remotamente controlados atendem a uma demanda específica que envolve o atendimento de quatro estágios básicos: ñsua utilização geralmente consiste em **decolar**, **seguir uma rota** até o seu destino, **coletar informações** e **retornar àorigemò** (PAULA, 2012, p.1).

De acordo com Neto; Almeida (2009), para a Confederação Brasileira de Aeromodelismo (2005), a definição para VANT é ñ..um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, que foi projetado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomoò

Se essas definições se forem agrupadas, podem, em linhas gerais, conduzir o leitor ao mesmo pensamento e conceito.Percebe-se que esse é um ponto já compreendido e que apresenta pequenas diferenças em relação aos autores e pesquisadores da área, mudando, em particular, com questões específicas do uso e da aplicação.

A definição do Exército Brasileiro, de acordo com a Portaria Normativa nº 606, do Ministério da Defesa, datada de 11 de junho de 2004, apresenta o seguinte texto:

> VANT é um veículo de pequeno porte, construído com material de difícil detecção, pilotado remotamente, usando asas fixas ou rotativas, e empregado para sobrevoar o alvo ou área de interesse com o objetivo de

> fornecer informações por meio de seu sistema de vigilância eletrônica. (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2004).

Em relação à evolução dos veículos em destaque, considera-se que, inicialmente, esses foram de característica muito próxima aos aviões de combate; no entanto, houve no caso de VANT a busca por máquinas com autonomia de voo.

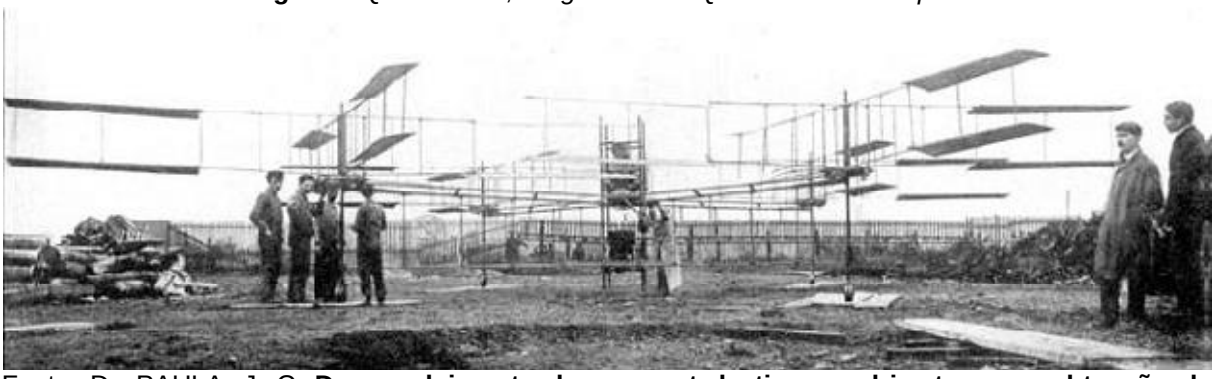
2.1.2. História do quadrirrotor

De acordo com Paula (2012, p.12), o quadrirrotor não é uma concepção recente. Há relatos, desenhos históricos de projetos bem definidos das primeiras ideias de helicóptero e seu sistema aéreo, ñ o quadrirrotor atual surgiu no começo do século XX onde, em 1907, Charles Richet e os irmãos Bréguet criaram o primeiro quadrirrotor que se tem registro, chamado *Bréguet-RichetQuad-Rotor Helicopter*ò

Na Figura 6, é possível identificar alguns dos princípios desenvolvidos para a época, com a particularidade de se possuir a necessidade de um piloto embarcado,o tamanho da aeronave éuma questão bem diferente dos dias de hoje.

É possível notar que, como os primeiros protótipos foram pensados em dimensões maiores das que foram projetadas e desenvolvidas em geral, a tecnologia e nanotecnologia ajudaram a difundir outro paradigma do ponto de vista da montagem desses equipamentos.

Figura 6. Quadrirrotor, *Bréguet-RichetQuad-Rotor Helicopter*



Fonte: De PAULA, J, C. **Desenvolvimento de um vant do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição**ï Curitiba, 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná 104f,p.12.

É possível identificar na Figura 6, diferentemente da Figura 2, que, o primeiro caso que era de asa fixa, os primeiros projetos consideravam a necessidade de

piloto embarcado, devido à dificuldade de se manipular de forma remota, e outro ponto é seu sistema de controle manual, desenvolvido por sistemas mecânicos simples (PAULA, 2012).

De acordo com registros, a aeronave da Figura 6 tinha seu peso aproximado de 570 kg, em relação ao projeto, alguns resultados não foram satisfatórios; no entanto, geraram desdobramentos positivos nos projetos e aeronaves de asas rotativas dos dias de atuais.

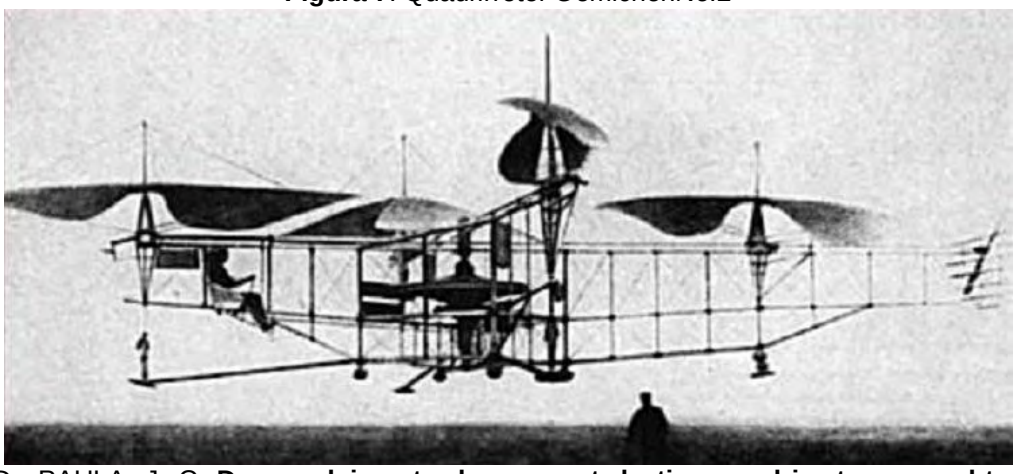
> [...] o protótipo não conseguiu obter a estabilidade necessária para sua pilotagem, não levantando mais que um metro e meio do solo. Apesar de seu funcionamento não ter sido satisfatório, Charles Richet e os irmãos Bréguet contribuíram descrevendo a teoria dos pares de hélices girarem em sentidos opostos, conceito ainda hoje utilizado para evitar o torque giroscópio. (PAULA, 2012 p.12).

Ao apresentar esse avanço, compreende-se que, embora não tenham tido desdobramentos satisfatórios em relação ao processo de pilotagem e sobrevoo, os pesquisadores contribuíram significativamente para os estudos posteriores.

A questão da estabilidade e do material usado na construção era complexa e não enfrentada, se comparada à questão da asa fixa. No entanto, houve avanço significativo, principalmente em relação ao processo que se desdobrou na estabilização dos projetos recentes,como por exemplo,a tipologia de rotação e estabilização da aeronave, e também como uma proposta viável para uma aeronave mais dinâmica e flexível em relação à possibilidade de modo de voo.

Para efeito de comparação entre projetos e desdobramentos técnicos de voo, o segundo estudo foi um avanço, pois tinha um projeto que conseguia responder bem a algumas questões técnicas e mais difíceisdo que o projeto anterior. A Figura 7 apresenta outro projeto e avanço, no que diz respeito aos anseios das pesquisas da época.

Figura 7. Quadrirrotor *OemichenNo.2*



Fonte: De PAULA, J, C. **Desenvolvimento de um vant do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição**ï Curitiba, 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná 104f, 2012, p.13.

A aeronave apresenta melhor desempenho e avanço, se comparada aos demais projetos da época e tambémao próprio projeto anterior.

> Em 1922, outro quadrirrotor foi criado por EtienneOemichen, chamado de ñ*Oemichen No. 2*ò baseado em um protótipo anterior, do mesmo inventor, que não obteve sucesso. Este protótipo tinha quatro rotores e oito hélices, das quais cinco eram para estabilizar a aeronave lateralmente, uma para a direção e outras duas para propulsão frontal. Apesar de ter mecanismos rudimentares, este protótipo apresentou uma considerável estabilidade e manobrabilidade, realizando mais de mil ensaios durante a década de 1920.(PAULA, 2012 p.12).

Em geral, as aeronaves remotamente pilotadas, ou como optou-se em classificar nesse trabalho, VANT, tinham pouca aceitação, por se mostrarem não confiáveis para a necessidade que se apresentava para a época, ou seja, durante a Primeira Guerra Mundial.

Décadas depois,outro protótipo datado de 1956, o quadrirrotor chamado ñ*Convertawings Model A*ò foi desenvolvido para fins militares e civis (PAULA, 2012), em que é possível verificar semelhança com os projetos atuais de VANT de asas rotativas, não só pelo conceito que se desdobrou ao longo do tempo, mas, também, pela possibilidade de se desenvolver com os testes e se firmar um método eficiente de voo e estabilidade de manobra.

Na Figura 8 é possível visualizar a considerável semelhança com projetos mais modernos, sendo eles de asas rotativas, com uso de piloto embarcado, ou então, remotamente pilotado, considerando os modelos atuais.

Quanto à questão técnica de componentes, ño protótipo era semelhante aos modelos atuais, pois possuía quatro rotores e hélices, e era controlado variando a velocidade de rotação das hélicesò(PAULA, 2012 p.13).

Esse conceito e aplicação são utilizados até os dias de hoje para desenvolver as manobras de voo e o controle de estabilidade da aeronave.

Figura 8. Quadrirrotor *Convertawings Model A*

Fonte: PAULA, J, C. **Desenvolvimento de um vant do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição**ï Curitiba, 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná 104f, 2012, p.13.

Pode-se dizer que o grande período de desenvolvimento moderno do VANT, de asa fixa ou rotativa, ocorreu na década de 1970, com os Estados Unidos e Israel desenvolvendo projetos estratégicos de VANT para as diferentes missões e necessidades de defesa nacional (CHAVES; CUGNASCA, 2013).

2.2 Operações militares com VANT

As operações militares na guerra do Líbano, utilizando como pano de fundo esses equipamentos, se mostraram altamente eficazes, que se desdobrou em um novo sistema que foi utilizado com sucesso nas operações no Iraque, em 1991 e em 2003.

Isso posto, as operações de 1991, que foram televisionadas e podiam ser acompanhadas na época em tempo real, deram uma ideia real do poderio bélico, estratégico e tecnológico em que o mundo se deparava.

Com os avanços nessa área tecnológica e com o uso do VANT Pioneer foi possível desenvolver mais de 300 missões durante a operação *Desert Storm*, quando a utilização de VANT realmente se firmou como arma de guerra e veículo altamente, preciso e seguro.

É possível compreender, com a apresentação dos conceitos e aeronaves, que há diferenças significativas na classificação dos veículos remotamente controlados, de asa fixa ou asa rotativa, na perspectiva do uso militar e civil.

Independentemente do tipo de emprego, essas aeronaves seguem um plano de voo; já os aeromodelos (PAULA, 2012) são usualmente utilizados sem prévio planejamento de voo e, dependendo da aeronave, porte e complexidade, existe a necessidade de cumprimento de horas de voo para a sua homologação, bem como os espaços onde esses veículos serão utilizados.

O Departamento de Defesa Americano (*Departament of Defense ï DoD*), em sua segunda conceituação, em 2005, define VANT como sendo um veículo aéreo que utiliza motor, não transporta um operador humano, usa forças aerodinâmicas para a sustentação aérea, pode voar de maneira autônoma ou ser pilotado por controle remoto, ser descartável ou recuperável e transportar uma carga útil letal ou não letal.

Tal consideração fica cada vez mais ampla se forem consideradas as definições iniciais sobre as aeronaves pilotadas remotamente. Considerando a definição do Departamento de Defesa Americano, veículos balísticos ou semibalísticos, mísseis de cruzeiro e projéteis de artilharia não são considerados veículos aéreos não tripulados.

De acordo com Chaves, Cugnasca (2013), esses veículos também são conhecidos como *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs), *Uninhabited Aerial Vehicles*, *Unmanned Aircraft Systems* (UASs) ou simplesmente *drone*. O VANT vem sendo cada vez mais inserido no meio civil e, por conta da sua grande aplicação, vem se transformando em componente tecnológico para outras aplicações.

Há pesquisas que hoje apresentam uma perspectiva de sistema de redes colaborativas, ou seja, o VANT funcionando em um futuro próximo como uma rede

de sensores, devendo ser coordenados para cumprir missões complexas. Existem testes recentes que já mostram essa possibilidade em escala reduzida e com aeronaves de mesmo modelo.Hoje há uma série de classificações dessas aeronaves,como potência, autonomia e porte. Para Chaves, Cugnasca (2012, p. 3) ñapesar de os VANTs atuais apresentarem baixa autonomia, a visão é que, no futuro, múltiplos robôs aéreos sejam capazes de atuar de modo colaborativoò

Ainda segundo os autores, esse obstáculo será ultrapassado quando osequipamentos conseguirem ter maior autonomia de voo. É possível aferir o significado de autonomia das aeronaves de acordo como Departamento de Defesa Americano (CHAVES; CUGNASCA, 2013), o que pode ser visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 ï Evolução dos Veículos Aéreos não Tripulados

Fonte: CHAVES; CUGNASCA, 2013, adaptado de DOD, 2005.

Ao considerar essa evolução apresentada nos estudos de Chaves e Cugnasca (2013), é possível identificar alguns avanços, principalmente em relação às características técnicas da aeronave, que a cada versão são melhoradas a fim de cumprirem as diferentes missões e desafios em diferentes situações.

Ao destacar a questão da perspectiva colaborativa de missões coordenadas, Chaves; Cugnasca (2013) comentam que isso já é uma questão em destaque e pesquisa em diferentes áreas e países.

> [...] o relatório das forças armadas americanas (U.S. ARMY, 2010) aponta que a expectativa no longo prazo (entre 2026 até 2035) é que operadores

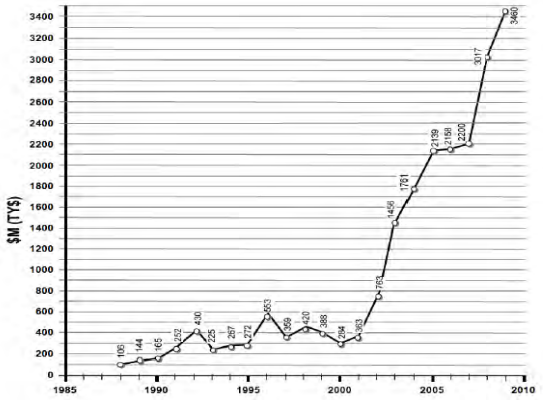
> sejam capazes de controlar múltiplos VANTs a partir de um único sistema de controle. Além disso, espera-se que os nano-VANTs sejam capazes de colaborar uns com os outros, formando, assim, enxames de nano-VANTs com autonomia suficiente para monitorar áreas internas e externas (CHAVES; CUGNASCA, 2013 p. 89).

As pesquisas revelam um avanço nas possibilidades de uso civil ou militar, mas, também, tornam-se, em determinado ponto, uma corrida silenciosa em busca do poder bélico.

Grande parte desse caminho em busca de novos e eficientes equipamentos ocorreram após os atentados de 11 de setembro de 2001, como mostra o Gráfico 2, onde os investimentos após o atentado cresceu consideravelmente.

De forma potencial, este e outros atentados sofridos em diferentes países aceleraram a busca por ferramentas e equipamentos mais baratos e eficientes em reconhecimento e monitoramento mais seguros, e os recursos então foram significativamente maiores a partir dos acontecimentos mundiais, e a corrida acelerou a pesquisa e a evolução desses equipamentos remotamente controlados.

Gráfico 2 ï Evolução histórica de investimentos em VANT



Fonte: LONGHITANO, G, A. **VANTS para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na navegação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) ï Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 25.

Considerando as últimas missões militares executadas com a utilização de VANT, como foi a de 2002, na guerra dos EUA contra o Afeganistão, têm-se aí exemplos de missões concluídas de maneira satisfatória com o uso exclusivo de VANT.

Como exemplo desse poderio, o veículo aéreo não tripulado Predator foi utilizado de forma mista: embora tenha sido concebido para realizar missões de reconhecimento e vigilância, foi também empregado para lançamentos de mísseis.

Segundo o diretor de planejamento da Força Tarefa de VANT do Pentágono,

> O inventário americano militar inclui mais de uma dúzia de sistemas de veículos aéreos não tripulados que incorporam capacidade de ataque e VANT de asas rotativas. Os VANT se prestam a realizar o que as pessoas não podem ou não deveriam fazer. Eles são capazes de operar a longas distâncias, não se cansam ou perdem a concentração como os humanos em longos períodos, particularmente quando sob perigo ou em ambientes estressantes. [...] as operações são mais baratas. A operação do Predator custa em torno de 25% da operação de um caça F-16, por exemplo. (WEATHERINGTON apud MILLES, 2008, p. 64).

As Figuras 9, 10 e 11, apresentam as características dos diferentes modelos,é possível identificar a evolução e melhora das características técnicas dos modelos apresentados. Outro ponto a ser destacado é a capacidade das aeronaves, em muitos casos, as especificações técnicas das aeronaves não são divulgadas.

Outro fator é a sua capacidade técnica e bélica, questões destacadas pelos desenvolvedores dos equipamentos, essas aeronaves estão classificadas como material bélico, principalmente por sua concepção de criação e junto a isso seu viés de espionagem e inteligência.

Figura 9: MQ1 Predator

Velocidade Máxima:	**222 km/h**
Altitude Máxima:	7.600
Autonomia:	40 horas

Fonte:http://www.ga.com/

Figura 10: Gray-Eagle

Velocidade Máxima:	**250km/h**
Altitude Máxima:	8.800
Autonomia:	30 horas

Fonte:http://www.ga.com/

Figura 11: MQ-9 Reaper

Velocidade Máxima:	**445 km/h**
Altitude Máxima:	15.250
Autonomia:	30 horas

Fonte:http://www.ga.com/

Percebe-se, pelos Gráficos1 e 2 apresentados, uma significativa evolução e o acentuado uso dessas aeronaves nas últimas décadas, bem como o aumento de investimento no desenvolvimento desses equipamentos.

As empresas de grande porte americanas Boeing, Lockheed Martin, Northrop, a francesa Dassault e a sueca Saab estão desenvolvendo novos tipos de VANT, o que mostra o nível de importância dessa vertente, como pode ser visto nas Figuras 12, 13 e 14.

Figura 12: UCAV X-47 da NorthropGumman

Fonte: http://www.is.northropgrumman.com

Esses equipamentos, como são de emprego em missões militares de ataque, podem ser controlados por um piloto ou programados para tomar decisões de forma autônoma, ou seja, um avanço na era da aviação autônoma e no implemento de inteligência artificial. Essa capacidade já foi utilizada em meados de 2005, quando dois Boeings X45A atacaram um alvo simulado.

Nessas ações,os UCAV tiveram que calcular quais seriam as estratégias e qual deles executaria o lançamento, além de decidirem a melhor rota de fuga; esses são exemplos de ações colaborativas conjuntas e decisão autônoma.

Figura 13: UCAV X-45 da Boeing

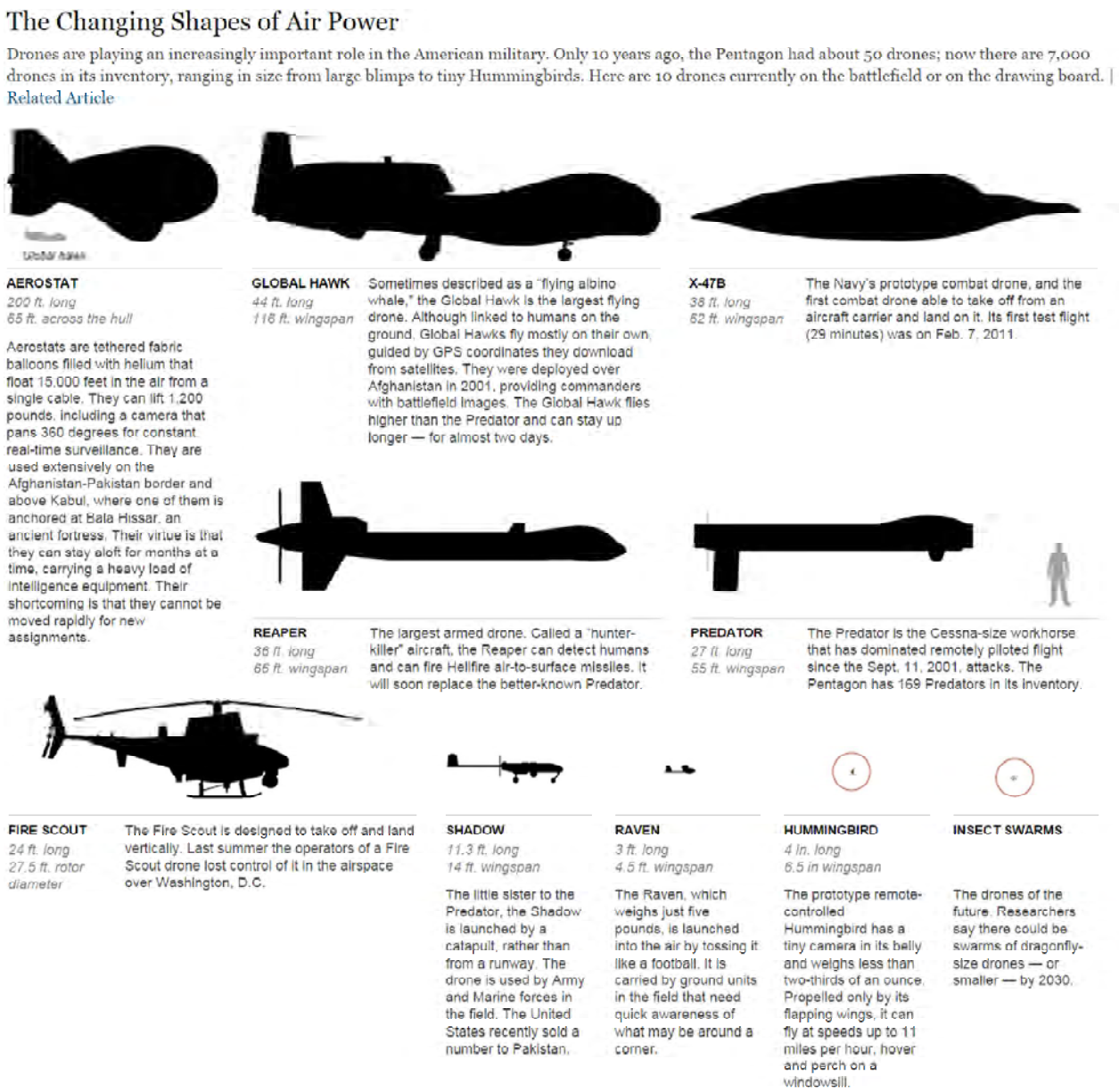
Foto: Boeing - http://www.boeing.com

Para o mercado brasileiro, algumas empresas já estão desenvolvendo produtos com finalidades civis e militares e já produzem e oferecem serviços com VANT para o mercado, a Embravant (Empresa Brasileira de Veículos Aéreos Não Tripulados) desenvolve e produz veículos aéreos não tripulados para aplicações civis.

Ainda em relação às percepções do desenvolvimento dessa indústria, nas primeiras aeronaves da era de alto desempenho, pós 1990, os VANTs possuíam asa fixa similar às aeronaves convencionais, e a tendência que se percebe é a adoção de modelo de monovolume em formato ñvò, com maior enflechamento, compactada, com capacidade de articulação, semelhante ao F-18, aeronave de caça.

Quando o assunto é o desenvolvimento de equipamentos de guerra para defesa nacional, a alta tecnologia tomou lugar em relação aos projetos iniciais ñcaseirosò, tornando-se indústrias de equipamentos de alta tecnologia e eficiência.Por questões estratégicas, em alguns casos muitas informações não são divulgadas, às vezes por conta das pesquisas e período de desenvolvimento e,principalmente, por uma questão de segurança da informação.

Figura 14 ï Aeronaves militares



Fonte: THE CHANGING(2011) *apud* Dias e Rossa (2015 p.192)

Algumas considerações são importantes sobre as possibilidades e limitações dos VANT no cumprimento das missões aéreas mais importantes como: inteligência, vigilância e reconhecimento (ISR); reconhecimento armado e supressão das defesas aéreas inimigas (SEAD), com algumas de suas conclusões transcritas abaixo:

> O UAV é um sistema de armas inovador que evita colocar o piloto em risco, mas não é uma tecnologia verdadeiramente desequilibradora, uma vez que sempre haverá missões que vão exigir aeronaves tripuladas. De maneira semelhante, a plataforma não tripulada tem menos flexibilidade, maior vulnerabilidade e não consegue analisar seu ambiente. Além disso, muitas

> plataformas não tripuladas de tecnologia avançada são tão dispendiosas quanto aeronaves tripuladas e seu custo elevado impedeque elas sejam empregadas de forma descartável. A complexidade de seu software e sua automação e arquitetura de comunicações as tornam de baixa confiabilidade operacional para numerosas missões. [...] Os UAV vão realizar a missão crítica de ISR nas operações militares futuras, durante as quais, ao receberem dados transmitidos por satélites, provavelmente desempenharão missões táticas juntamente com seus equivalentes tripulados. Os MAV, com seu potencial de transformar substancialmente missões de operações urbanas e operações especiais, verão seu papel ampliado nos conflitos futuros. (PARDESI, 2005, p. 28).

Do ponto de vista militar, para o emprego de UAV/UCAV faz-se necessário um amplo aparato tecnológico que inclui bases terrestres de operação, aviões auxiliares e uma rede de monitoramento por satélites.

Os ataques realizados por VANT armados são controlados de locais distantes dos alvos a serem atingidos, operados a partir de telas de computadores que expõem a área a ser atacada. Esses fatores, por si só, podem ser considerados ora vantagens, ora desvantagens da utilização dos VANT.

Por outro lado, o avanço no campo militar possibilitou a utilização e o enfoque no campo civil, pois toda a experiência pode ter aplicações distintas e potencializar as atividades em outros setores, como veremos no capítulo a seguir.

2.3. USO DO VANT COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Além de ter crescido em todo o mundo o interesse em torno dos veículos, o que chama a atenção é sua utilização para os fins da agricultura (JORGE; IAMASU, 2011). Inicialmente,percebeu-se o potencial, principalmente no que tange àesfera de voo para a pulverização de plantações; no entanto,as atividades só vêm crescendo dada a vasta possibilidade de aplicações no agronegócio.

Muitas pesquisas que hoje são realidade, na utilização desses veículos, tiveram início em projetos de pequeno porte, em várias frentes.

A maioria dos projetos são desenvolvidos nas universidades, incubadoras, empresas privadas, entre outros, e isso teve sua possibilidade potencializada a partir do momento da grande expansão tecnológica e do mercado consumidor pela internet de equipamentos eletrônicos e aplicativos gratuitos (MEDEIROS,2007; JORGE; INAMASU, 2011).

Em paralelo aos projetos iniciais, no campo militar foi desenvolvido de forma secreta, ou seja, pouco se sabia e se tinha notícia sobre essas aeronaves, mas, com o acesso à informação e com a explosão de guerras, esses equipamentos ñespiõesò, que eram considerados segredos de Estado,vieram à tona, incentivando a pesquisa em outras áreas e, de certa forma, ajudando o avanço tecnológico.

Na área rural, foi mais restrito porque muitos equipamentos que podem ser comprados e embarcados nos VANTs hoje são considerados ñarmasò de guerra. Os autores pesquisados consideram que muito se fez nos últimos quinze anos nos meios civis por conta das redes cooperativas de desenvolvimento e acesso à tecnologia.

> Avanços recentes na tecnologia computacional,desenvolvimento de software, materiais mais leves, sistemas globais de navegação, avançados *links* de dados, sofisticados sensores e a miniaturização são os motivos do aumento de desenvolvimentos de VANTs. Os Estados Unidos aparecem como um dos líderes em termos de tamanhos, tipos e sofisticações dos sistemas, voltados principalmente para o mercado militar ao lado de Israel. (JORGE; INAMASU, 2011).

É possível hoje dizer que todos os países desenvolvidos e em desenvolvimento estão por conta da corrida por soluções inovadoras. Esses projetos de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs) sejam de asa fixa ou de asas rotativas (MEDEIROS, 2007; JORGE; INAMASU, 2011), são, hoje, uma busca certa para as áreas de tecnologia e, em consequência, para a agricultura de precisão.

Existem pólos mundiais nesse segmento, e Israel e Estados Unidos são os países que estão em destaque, e isso muito se deve a sua própria história, aos

movimentos de guerra e à busca armamentista que se faz necessária em relação ao emprego de arma e de defesa nacional.

É possível considerar que o sistema de informação, atrelado a equipamentos cada vez mais baratos e fáceis de serem adquiridos, e também pesquisas sendo desenvolvidas e publicadas em rede mundial, facilitou muito o acesso às informações e aos novos produtos, que, somados, dão como produto final uma solução inovadora para as diferentes áreas, e, nesse caso, potencializa as ações e ferramentas em prol da agricultura de precisão.

Nesse contexto, há outros países que também entraram com projetos de VANT, como, por exemplo, o Japão, a Korea do Sul, Austrália, França, Inglaterra, Itália, Alemanha e África do Sul (JORGE; INAMASU, 2011).

O Japão é o país que mais se destaca,pois vem utilizando mais de 2000 VANTs em pulverização e outras aplicações na agricultura e agricultura de precisão, questão essa muito forte no país, justificando, assim, sua opção para esses veículos nos últimos anos (JORGE; INAMASU, 2011).

Este trabalho tem como premissa apresentar algumas atividades que podem ser desenvolvidas pelos equipamentos na agricultura e em outras atividades do campo, o Quadro 1 mostra um panorama dessas atividades que já foram expostas nas sessões anteriores, mas aqui priorizou apresentar algumas das atividades destacadas para facilitar a compreensão e a conclusão das atividades que serão apresentadas mais à frente.

O documento levantado pela NASA (2006), denominado ñ*Earth Observations and the Role of UAVs*ò, apresenta uma série de atividades potenciais dos VANTs na área civil, divididos por três grandes áreas: Ciências da Terra, Gestão Costeira e uso do Solo e Segurança Pública.

Nos Quadros 1 e 2 são apresentados as atividades e com mais detalhes, conforme estudo de emprego de VANT.

Quadro 1 ï Missões em Ciências da Terra

1- Interfometria repetida da superfície
2- Observação costeira
3- Incêndios, emissões, dissipação de plumas
4- Composição e estrutura da vegetação
5- Dinâmica de geleiras
6- Espessura e superfície de geleiras
7- Mapeamento topográfico
8- Espectroscopia de imageamento

Fonte: Adaptado de NASA (2006).

Já no Quadro 2, o mesmo estudo aponta algumas atividades de Gestão de Território e Missões Costeiras.

Quadro 2 ï Gestão de Território e Missões Costeiras

1- Contagem de população para gestão da vida selvagem
2- Missões de telemetria para gestão da vida selvagem
3- Detecção de alterações de habitats da vida selvagem
4- Agricultura de precisão
5-Gestão de reservatórios
6- Gestão de faixas (APP, servidão de LTS, etc)
7- Qualidade de água costeira
8- Identificação de rastreamento de vida no mar
9- Predição e medição de incêndios e desastres

Fonte: Adaptado de NASA (2006)

Embora não tenham sido apresentados todos os levantamentos constantes do estudo inicial (NASA, 2006), foi possível identificar a gama de atividades possíveis de serem aplicadas e aprimoradas por VANT, e o uso dependerá principalmente de recursos e conhecimentos nas diferentes áreas de atuação e pesquisa.

Por fim, no Quadro 3 é apresentado no campo da Segurança Pública, um levantamento específico.

Quadro 3 ï Missões para Segurança Pública

1- Vigilância marinha
2- Monitoramento de túneis
3- Vigilância de grande áreas e fronteira
4- Missões táticas de fronteira
5- Patrulha costeira

Fonte: Adaptado de NASA (2006)

Embora a utilização do VANT seja ampla, no contexto do trabalho, o enfoque e aplicação foram direcionados na coleta de imagens e monitoramento de rebanhos, propriedades rurais e testes de monitoramento e coleta de imagens de forma remota e, em segunda etapa da pesquisa, de maneira autônoma. A atividade teve como objetivo aferir as aplicações propostas pelos estudos e viabilizar novas atividades no campo e no agronegócio.

2.3.1. Uso de VANT na coleta de imagens

Uma das primeiras atividades relacionadas ao uso de VANT está ligada à aquisição de imagens,que pode dar ao proprietário de terras, ao produtor, ou mesmo ao gestor do agronegócio uma série de informações valiosas.

Antes desse uso, as imagens eram obtidas por aeronaves convencionais, encarecendo muito o processo e, com isso, dificultando outros trabalhos que o produtor poderia desenvolver com os recursos financeiros destinados a essa atividade.

Jorge e Inamasu (2011, p.110) afirmam que Przybilla e Wester-Ebbinghaus, em (1979), ñfizeram os primeiros experimentos com VANT em fotogrametria... voaram na escala de 1:1000, com velocidade de obturador da câmera da ordem de 1/1000 s, com velocidade da aeronave suficiente para se obter imagens aceitáveisò, independentemente da questão do movimento, que hoje, pela qualidade das lentes e aplicativos, não geram problemas no manuseio dos vídeos e imagens coletadas.

Um dos primeiros trabalhos com aeronave com asas rotativas foi o de Zischinsky *et* al. (2000),em que usaram imagens obtidas com um equipamento do tipo helicóptero para obtenção do modelo 3D de uma mina (JORGE; INAMASU, 2011).

Por conta dos estudos dos autores destacados, na agricultura de precisão, foram iniciados com mais efetividade e interesse. Hoje, os proprietários, gestores e produtores rurais procuram naturalmente novas soluções e propostas para tornar o negócio mais eficiente e estão contando com uma enorme gama de possibilidades no Brasil.

No Brasil, os primeiros projetos de VANT iniciaram em meados de 1980, no Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA), que desenvolveu o projeto Acauã, que ñtinha fins militares especificamente e ficou desativado, depois sendo, somente em

2007, reativado por uma iniciativa do governo de incentivo ao desenvolvimento de VANT no Brasilò (JORGE; INAMASU, 2011, p. 110). Em paralelo à ação com enfoque ñmilitarò, no contexto civil, também na década de 1980, por conta de falta de incentivos governamentais o projeto naquele momento não foi finalizado.

De acordo com Jorge (2011), anos mais tarde, houve novos avanços. Segundo Medeiros (2007)*apud* Jorge e Inamasu (2013), o Centro de Pesquisas Renato Archer (CenPra) desenvolveu o projeto do dirigível AURORA (*Autonomus Unmanned Remote Monotoring RoboticAirship*). Dentre as aplicações civis, principalmente com enfoquena agricultura,destaca-seo projeto ARARA (Aeronave de Reconhecimento Assistida por Radio e Autônoma) (JORGE; INAMASU, 2011).

Os trabalhos iniciados no projeto descrito eram justamente para a migração de aeronaves convencionais,cujas fotografias eram obtidas manualmente, para novas propostas de aeronaves (VANT),com imagens obtidas de maneira autônoma ou remotamente controladas.

Com esses novos equipamentos de voo foi possível fazer o monitoramento de áreas agrícolas e áreas sujeitas a problemas ambientais, por VANTs de pequeno porte, que realizam missões pré-estabelecidas pelos usuários (JORGE; INAMASU, 2011).

De acordo com os estudos, surgiram muitos projetos e pesquisas entre 1999 e 2005. Nesse período, foi implantado um VANT de asa fixa patenteada pela Embrapa (JORGE, 2004), que foi desenvolvido e teve seus estudos de voo autônomo finalizados em 2006, sendo que ao longo do projeto todas as atividades decorreram de maneira autônoma (JORGE; INAMASU, 2011).

No que se refere ao uso de aeronaves remotamente tripuladas de asas rotativas, a Embrapa desenvolveu o VANT,da Yamaha, um helicóptero que, além de ser muito flexível em termos de plano de voo, se mostrou preciso no momento da pulverização para o controle de pragas, com capacidades diversas.

A Figura 15, apresenta o modelo inicial dos trabalhos com VANT de asas rotativas (helicóptero) hoje, o mais comum para essas atividades é o quadricóptero, por apresentar maior facilidade de controle e estabilidade.

Figura 15. Imagens aéreas de plantações (a)

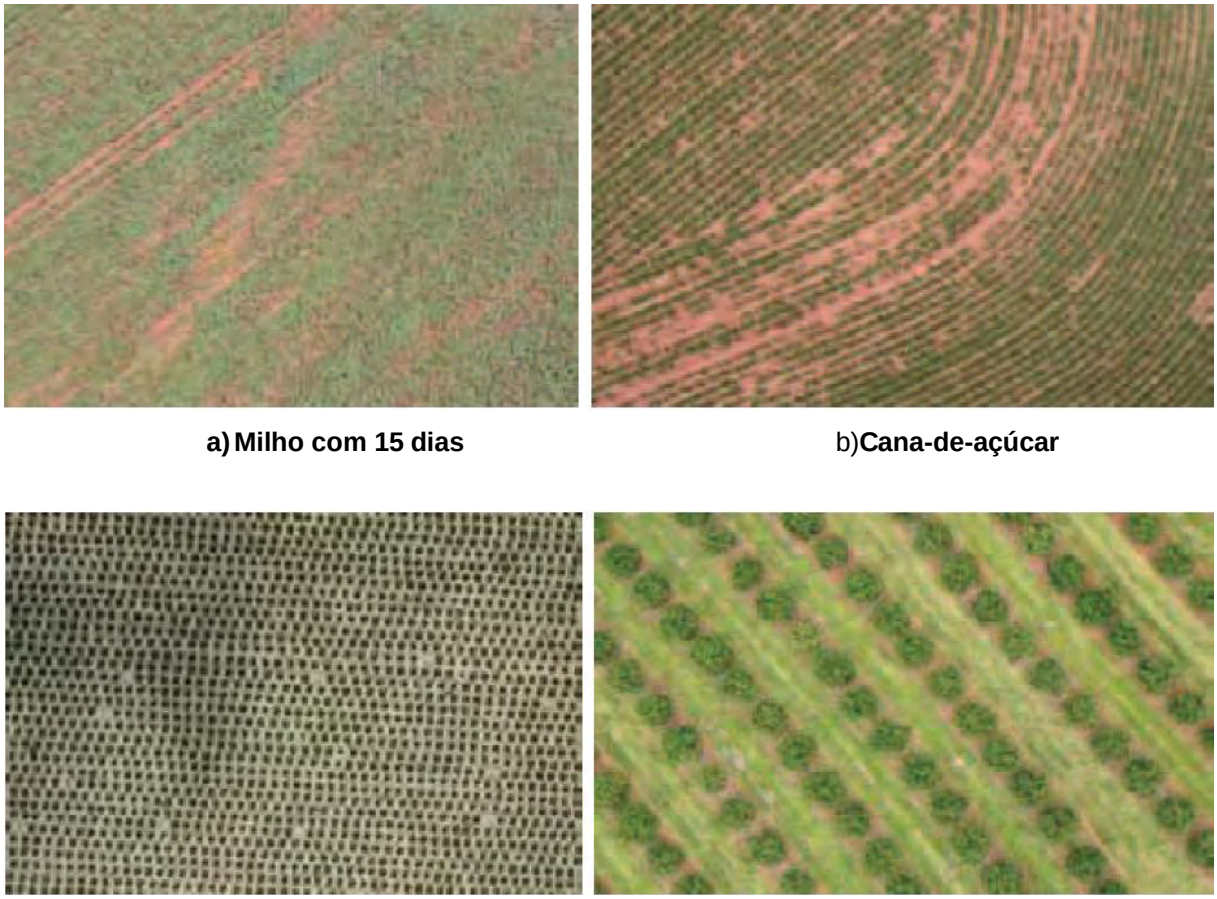
Fonte: RASI, J. R. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não tripuladopara aplicação em pulverização agrícola.** 2008. 70f. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008, p.30.

Para a Embrapa era necessário desenvolver outra plataforma que pudesse ser aplicada em situações complexas de plantio, pulverização, dinâmica de voo ou mesmo uma missão mais complexa, envolvendo topografia por exemplo.

No Brasil existem iniciativas bem-sucedidas em universidades, com apoio de empresas. Essa prática torna-se cada vez mais presente no cotidiano dos grupos de pesquisa, e as empresas começam a compreender que o mercado tem demandas para diferentes tipos de VANT, como, por exemplo, empresa *Flight Solutions*, a XMobots, a *Airship*, a *Skydrones*, entre outros destaques.

Na Figura 16são apresentadas algumas das possibilidades em aeronaves remotamente pilotadas, e que foram realizadas por diferentes tipos de VANTs, e apresentado o estudo de campo e a atividade de coleta realizada pelo VANT utilizado nesta pesquisa.

Figura 16. Imagens aéreas de plantações (b)



a) Milho com 15 dias b)**Cana-de-açúcar**

c) Eucalipto d)**Citros**

Fonte: JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. ; CARMO, R. B. . **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em agricultura de precisão no Brasil**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011. p. 23.

Identificam-se diferentes informações, que servem para subsidiar o produtor, o gestor de propriedades rurais e os analistas, e as diferentes aplicações podem ajudar na tomada de decisão, seja por problemas no plantio ou para estimativa de produção.

Outra possibilidade é o uso do sensor NIR.Algumas respostas de estresse nutricional, indicadores fisiológicos e estrutura do dossel são mais bem verificados com imagens no infravermelho ou no NIR.

No exemplo da Figura 17, a aquisição da imagem é transmitida ao sensor e a coleta é resultante de informações da área plantada e que recebeu os componentes

adequados; dessa forma, é possível verificar a efetividade de consumo e análise de plantação.

Figura 17. Imagens aéreas de plantações (c)

Fonte:TEIXEIRA, Bruno Eduardo; CHIACCHIO, S. S. R. **Projeto VANT:** aplicação do conceito no desenvolvimento de uma bomba teleguiada por GPS no clube de guerra eletrônica p, 19.

Com a utilização de componentes específicos para a coleta de imagens de solo e irrigação, é possível coletar informações referentes a outros aspectos da plantação (Figura 18),considerando-se, em primeiro plano, a coleta inicial (Figura 17).

Figura 18. Imagens aéreas de plantações (d)

Fonte:JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. ; CARMO, R. B. . **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em agricultura de precisão no Brasil**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011, p. 119.

.

Outra possibilidade é a obtenção de imagens de falhas de plantio, bem como a aferição de avaliação de germinação e crescimento de híbridos de milho no campo, por exemplo, ou outra cultura. Os estudos de Teixeira (2016) com o uso de VANT de asa fixa também corroboram com os estudos apresentados com os testes realizados.

Figura 19. Imagens aéreas de plantações e captura de falhas na plantação

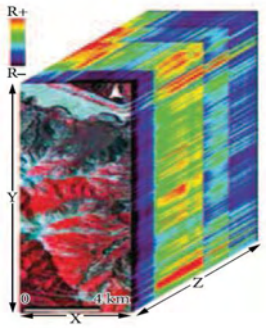
Fonte:Teixeira, Bruno Eduardo. **Utilização de veículo aéreo não tripulado de asa fixa no monitoramento e coleta de imagem de animais e ambientes em propriedades rurais**. 2016. 80f. Dissertação (Mestrado) ï Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016. p. 69.

Outra utilização presente no levantamento geográfico e na avaliação dos impactos do clima, solo e irrigação são o uso de imagens hiperespectrais, que possibilitam estudos bem detalhados em relação aos padrões espectrais, coberturas vegetais e de espécies, conforme a Figura 20.

Com esse tipo de trabalho, há uma infinidade de serviços ao produtor que podem ser oferecidos, como análise de plantas, nutrição e irrigação. Essas e outras atividades podem ser desenvolvidas nas mais diferentes culturas.

Essas questões levantadas pelas imagens revelam as propriedades fisiológicas e estruturais da planta e também a relação com os fatores ambientais, fenológicos e antropogênicos.

Figura 20.Imagem Hiperespectral típica



Fonte:JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. ; CARMO, R. B. . **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em agricultura de precisão no Brasil**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011, p. 119.

Em meados dos anos 1990 ñiniciaram os sensores hiperespectrais, cujas imagens demonstraram,em poucos anos, uma vasta potencialidade de aplicações, assim como numerosas vantagens sobre os sensores multiespectrais convencionaisò (JORGE; INAMASU, 2011, p. 120).

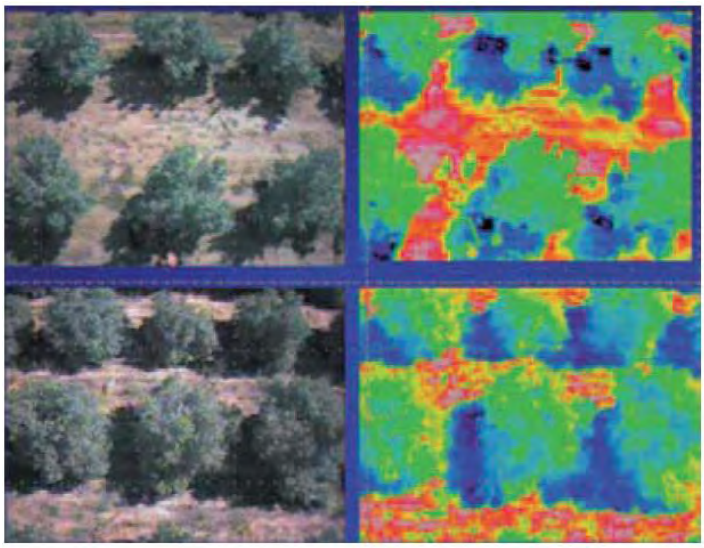
> Se por um lado o sensor multiespectral é capaz de dividir o espectro eletromagnético em poucas bandas ou proporções espectrais (baixa resolução espectral), sensores hiperespectrais são capazes de registrar centenas de bandas contínuas através de diversas dimensões do espectro eletromagnético (alta resolução espectral), o que permite contar com uma curva detalhada do comportamento espectral de área monitorada, possibilitando sua identificação e discriminação com grande precisão. (JORGE; INAMASU, 2011, p. 120).

É possível compreender, então, que as mais diferentes usos dessas aeronaves e diferentes sensores também estão atrelados a elas, ou mesmo podem ser potencializadas se tiveram a capacidade de levar consigo uma carga de componentes necessários para levantar dados e informações, além da imagem sem qualquer tratamento, ou seja, os trabalhos de coleta podem ser melhorados se o VANT estiver com sensores ou sistemas embarcados, como aplicativos de tratamento de imagem ou um componente físico, que colete as informações para tratamento posterior.

Com isso, é possível trabalhar com uma série de atividades após coleta de imagem e informações.

A Figura 21 apresenta uma imagem no visível (comum) de copas de árvores e a mesma imagem na faixa termal, com sistema térmico. Em linhas gerais, é possível mapear com pseudocores as temperaturas do dossel. Esse tipo de sensor é utilizado para avaliar estresse hídrico e, em conjunto com imagens hiperespectrais, serve para determinar a fluorescência, potencializando assim o trabalho de coleta de imagens realizada pelo VANT com sistemas embarcados.

Figura 21.Imagem térmica



Fonte:JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. ; CARMO, R. B. . **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em agricultura de precisão no Brasil**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 2011, p. 121.

Com essa aplicação o produtor tem com a coleta de imagens, a possibilidade de aferir uma série de informações relevantes, e que antes seriam possíveis por outros meios mais onerosos e demorados.

Outra atividade possível e que já foi apresentada no quadro de atividades potenciais de VANT, é a navegação em busca de aferição de APP.

O objetivo nesse tipo de missão é navegar pelo leito do rio e coletar informações sobre a vegetação que compõe toda a extensão do rio e verificar se está sendo respeitada a distância necessária da margem, que é uma questão prevista em lei.

No próximo capítulo, serão apresentados os pressupostos metodológicos utilizados em toda a pesquisa e o caminho desenvolvido até a coleta de imagens, que será apresentada em capítulo específico, com considerações e resultados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa,os pressupostos metodológicos e os caminhos adotados para a construção do trabalho. Também serão apresentados alguns dos procedimentos utilizados e praticados nas mais diferentes missões de voo para a aquisição de imagens, bem como de quadros comparativos de desempenho de aeronaves.

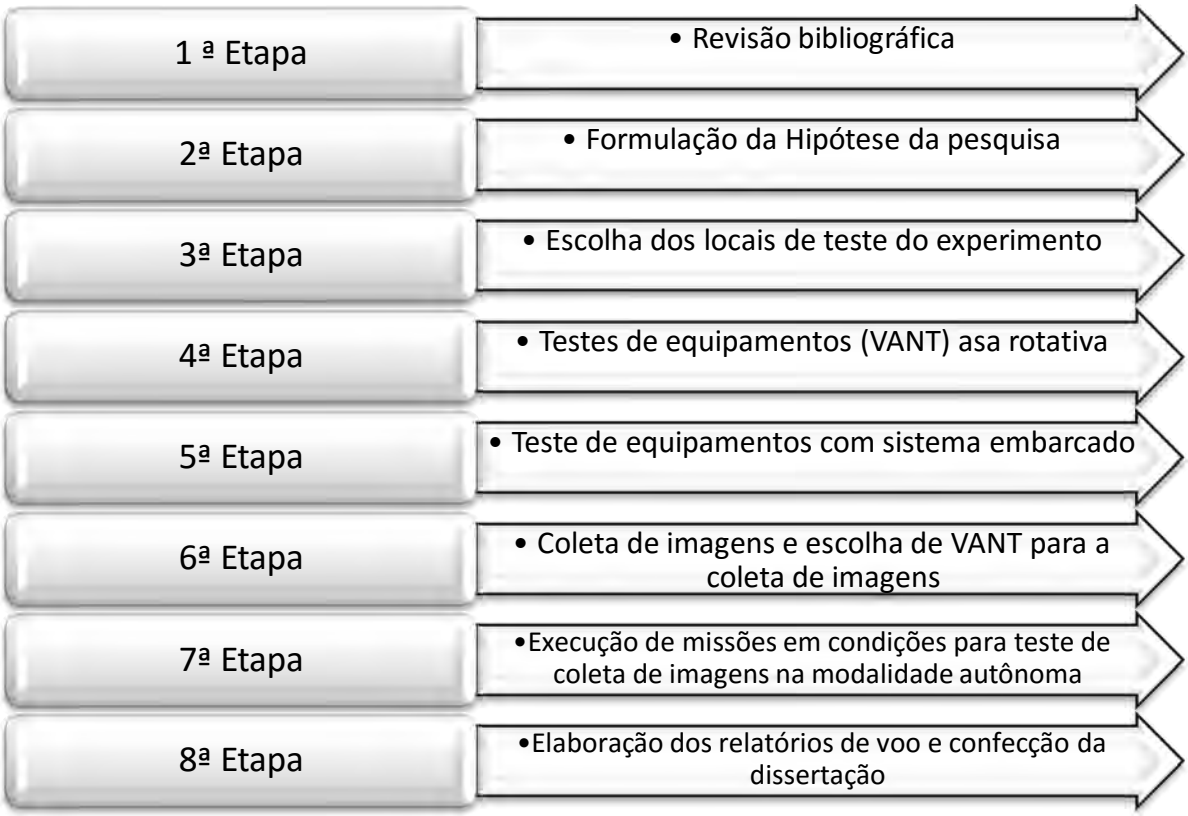
Assim, um fator importante e relevante é a escolha da aeronave para as missões de voo e testes, bem como a forma de apresentação dos resultados obtidos com os experimentos.

Com isso, a pesquisa apresenta não só os caminhos, mas, também, traça um paralelo com os objetivos expostos no primeiro capítulo, que foram a utilização de veiculo aéreo de asas rotativas para potencializar as atividades de monitoramento, mapeamento e coleta de imagens de propriedades rurais e apresentar, como resultado, elementos que possam potencializar a agricultura de precisão e subsidiar ainda mais o produtor na tomada de decisões do produtor.

3.2. Caminho metodológico

A pesquisa foi estruturada em etapas, para facilitar os procedimentos e os trabalhos de confecção da dissertação, que são apresentadas por meio do esquema apresentado no Quadro 4.

Quadro 4. Etapas da pesquisa



Fonte:Própria autoria.

A metodologia adotada no trabalho visa apresentar o caminho percorrido a fim de cumprir o objetivo inicial proposto. Para tanto, seguiu-se uma sequência lógica dos assuntos e na construção dos capítulos da dissertação.Esse encadeamento possibilita ao leitor o entendimento para conferir os estudos e avanços propostos e executados pelo pesquisador.

Buscou-se, inicialmente,fornecer o entendimento sobre o significado do termo VANT, bem como suas diferentes aplicações e o enfoque da pesquisa, que é direcionada ao agronegócio, como ferramenta de utilização para melhoria de soluções na agricultura de precisão.

Nos capítulos seguintes à introdução,o leitor pôde compreender as aplicações e as diferentes atividades propostas e executadas pelo VANT, bem como a flexibilidade de utilização como serviço ao produtor e também, a expansão dessa atividade no campo civil, no Brasil e no mundo.

Todo esse arcabouço teórico metodológico se apresentou nos capítulos iniciais, a fim de subsidiar o leitor com ampla informação e capacidade de reflexão sobre as mais diferentes soluções propostas por VANT no contexto civil e sua aplicação no agronegócio.

Como caminho técnico, buscou-se apoio em recentes pesquisadores e os avanços, sejam eles em pesquisas de VANT de asa fixa ou em trabalhos publicados, que têm o contexto aqui esperado e direcionado, que é o uso de VANT de asas rotativas.

Como primeira etapa da atividade do pesquisador, buscou-se atender e compreender as diferentes referências acerca das pesquisas sobre a temática e, posteriormente, seguiu-se o plano proposto e apresentado no início deste capítulo.

Assim, utiliza-se a pesquisa bibliográfica para, através do método indutivo, contemplar as soluções possíveis e generalizadas que visam dar luzes a entendimentos sobre o problema proposto, qual seja, da utilização de VANT de asas rotativas na atividade de monitoramento e mapeamento ambiental, bem como na coleta de imagens e monitoramento de rebanhos, executada em diferentes propriedades rurais.

3.2.1. Modalidade de voo manual e autônomo

Diferentes modelos de aeronaves cumprem diferentes missões e têm, consequentemente, diferentes aplicações.Os modelos de asa rotativa necessitam de áreas menores para decolagem e pouso, por isso chegam aos locais de difícil acesso, normalmente apresentam maior estabilidade, principalmente se o foco do mapeamento for precisão e rapidez na coleta dos dados e imagens.

Se a escolha for os modelos de asa fixa, algumas são as preocupações e entendimento sobre as premissas de voo. Na Figura 22 é possível identificar as forças que são inerentes às atividades de voo com asa fixa.

Figura 22: Forças na asa em movimento

Fonte: BASTOS, 2011.

A dinâmica do voo muda conforme a escolha do equipamento de sobrevoo. No caso de um quadricóptero, a Figura 23 mostra a relação de forças e rotação e dinâmica de voo, já evidenciadas no capítulo inicial.

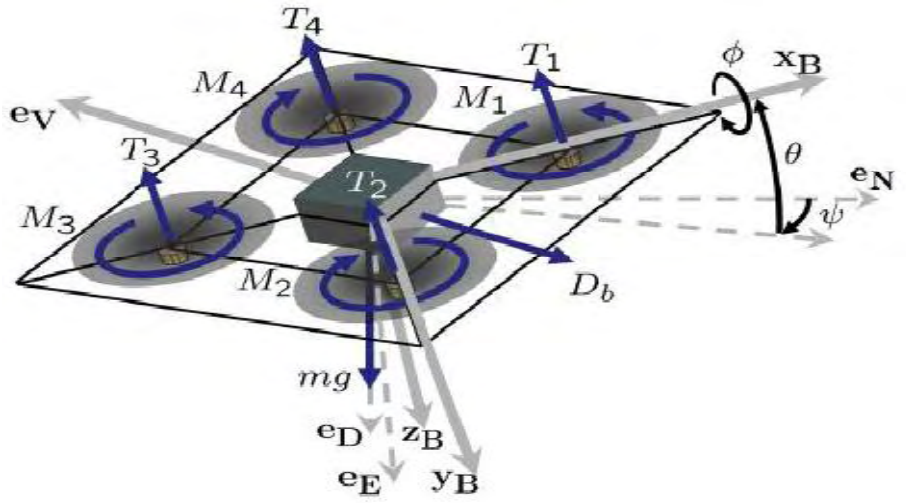
Identificam-se as forças e momentos em um quadricóptero em relação ao corpo e sistemas de referência inerciais, bem como se entende que essa dinâmica de voo é a mais apropriada para a realização do voo com estabilidade e com excelente desempenho. Na história da construção do quadrirrotor, essa conclusão possibilitou avanços aos mais diferentes protótipos.

De acordo com Silva e Moraes (2012), os ângulos *roll*, *pitch*e*yaw* (z, αe γ, respectivamente) são controlados por impulso diferencial, e este impulso, entre motores opostos, fornece torque em ze α.Já entre os pares de motores em contrarrotação fornece o torque em γ, ou seja, outra forma de deslocamento.

O posicionamento com base em coordenadas é realizado mediante o controle da magnitude e direção do impulso total. A força de arrasto Db também age sobre o veículo, com sentido oposto à velocidade e V, dessa forma, a dinâmica de voo se apresenta de maneira distinta do controle e manuseio do VANT de asa fixa. Uma

vez diferenciados esses equipamentos em ferramentas de autonomia de voo, é possível planejar missões e ações específicas de coleta de dados e foto filmagem.

Figura 23: Diagrama de forças



Fonte: HOFFMANN *et*al., 2007.

Em linhas gerais, todas as aeronaves de asas rotativas utilizam o mesmo princípio de voo e as atividades descritas para executar as diferentes manobras possíveis nessa aeronave, tanto no módulo de voo controlado por piloto ou no modo autônomo.

3.2.2. Equipamento

O VANT como plataforma de utilização foi escolhido, considerando sua ficha técnica e componentes necessários para a execução, da atividade de coleta de imagens e voo autônomo com seu sistema de GPS acoplado à plataforma.

Para o estudo foi utilizado um quadricóptero modelo *Parrot Bepop Skycontroller*,com sensores que desenvolvem os comandos nos diferentes eixos e podem ser acoplados a uma tela para controle e programação de voo autônomo, e pode ser facilmente monitorado pelo sistema de imagem disponível no equipamento, ou seja, o controlador do VANT também pode definir rota, considerando as imagens que estão sendo transmitidas no momento da coleta (Figura 24).

Outro fator determinante para a escolha do modelo foi à possibilidade de utilização de sistema integrado ao dispositivo para a atividade de monitoramento e coleta de imagens de modo autônomo.

Figura 24: *Parrot Bepope Skycontroller (a)ï visão lateral e frontal*

Fonte: http://www.parrot.com/usa/products/skycontroller/

A pesquisa foi desenvolvida em duas grandes etapas: a primeira com testes em VANT, com equipamentos embarcados; em seguida, quando aprimorados os testes e a estabilidade, aprofundaram-se os testes de coleta em diferentes estados ambientais, e em seguida foram feitos testes com o planejamento de missão de maneira autônoma, para a execução de todas as atividades de coleta de imagem e filmagem (Figura 25).

Figura 25: *Parrot Bepope Skycontroller (b) ï visão superior*

Fonte: http://www.parrot.com/usa/products/skycontroller/

No Quadro 5, são apresentados os elementos técnicos do aeromodelo escolhido, com os componentes utilizados para captação de imagens em missões da pesquisa.

Quadro 5. Informações técnicas da aeronave

Especificações técnicas do VANT PARROT Bepop	
Camera	**14 mega-pixels with "fisheye" lens**
Video	**3-axle Full HD 1080p**
Stabilisation	**Digital stabilisation (Parrot system)**
Batterylife	**25 minutes flying time (with 2700 mAh battery)**
GPS	**Yes**
Processor	**Dual core processor with quad-core GPU**
Storage	**8 GB flash storage system**
	Connectivity
Wi-Fi	**Wi-Fi 802.11a/b/g/n/AC**
Network	**MIMO Dual band**
Wi-Fi Aerials	**2.4 and 5 GHz dual dipole aerials**
Output power	**Upto 21 dBm**
Signal range	**300m**
	Video
Sensor	**CMOS 14Mpx**
Optical	**Sunny 180° fisheyelens: 1/2,3" aperture**
Videostabilizer	**3-axle digital system**
Videoresolution	**1920x1080p (30fps)**
Photoresolution	**4096x3072 pixels**
Videoencoding	**H264**
Photoformat	**JPEG, RAW, DNG**
Internalmemory	**Flash 8Go**
	Performance
Max horizontal speed	**16 m/s**
Max upwardspeed	**6 m/s**

Fonte:Elaborado pelo autor com base nas informações do site http://www.parrot.com/usa/products/skycontroller/

A Figura 26 apresenta os módulos que proporcionaram ao produtor uma ferramenta que pode potencializar ainda mais a coleta de imagens, atrelada à gravação do trajeto estipulado de forma autônoma ou por controle remoto. Acoplado a um *tablet* é possível acompanhar toda a rota e coleta de imagens, em alta definição e, de forma pontual, escolher as melhores imagens e trajetos que servirão para tratamento e estudo das informações das imagens coletadas.

Figura 26: *Parrot Bepope* ***Skycontroller*** *(c)*

Fonte: http://www.parrot.com/usa/products/skycontroller/

3.2.3. Mission Planner

O *Software Mission Planner* tem a responsabilidade de integrar as atividades de voo e rota.Foi utilizado na pesquisa para, em conjunto com outras informações, promover o voo autônomo e possibilitar incluir as coordenadas das diferentes missões. Outras atividades permitiram a aquisição dos dados de voo, o controle e a navegação da aeronave, o planejamento de missão, e a total interação entre o operador e a aeronave (Figura 27).

Os dados de telemetria envolvem: posicionamento da aeronave, altitude, velocidade, orientação, distância a pontos pré-determinados, entre outros, além da possibilidade de gerar um arquivo de ocorrências (*Logs*). Assim, esta é uma ferramenta importante para monitoramento das condições do voo e da aeronave, bem como da realização das missões de voo.

Figura 27: *Software Mission Planner*

Fonte: http://ardupilot.org/missionplanner

O programa *Mission Planner* foi utilizado para diferentes missões e objetivos: na primeira fase, no teste de localização, e, em seguida, na utilização de voo autônomo. Com o uso do software, foi possível trabalhar uma série de atividades de

localização, monitoramento, coleta de dados e armazenamento de imagens. Algumas das missões iniciais foram executadas dentro da área experimental na região de Pirassununga, e em espaços reservados dentro da Academia da Força Aérea.

Na Figura 28, observa-se a inclusão no sistema para o voo planejado e remoto. A missão fez parte do projeto inicial de identificação de soluções para planejamento de voo e também de voo autônomo, com pontos pré-definidos para as missões (TEIXEIRA; CHIACCHIO, 2014).

Os dados levantados foram realizados com o VANT e possibilitaram aferir os resultados das missões iniciais de teste de plataforma.

Figura 28: Inclusão de pontos em sistema do *Software Mission Planner*

Fonte: TEIXEIRA, Bruno Eduardo; CHIACCHIO, S. S. R. **Projeto VANT:** aplicação do conceito no desenvolvimento de uma bomba teleguiada por GPS no clube de guerra eletrônica p, 16.

Na atividade desenvolvida, durante todo o projeto, nos anos de 2014 e 2015, foi possível identificar a eficiência dos mais diferentes aplicativos de captura de imagens, planejamento de voo, piloto automático, bem como as diferentes aplicações, com enfoque na coleta e tratamento de imagens.

Inicialmente, as missões foram desenvolvidas com mais de um tipo de VANT, assim, as que não poderiam, por questões técnicas de clima, serem realizadas por uma aeronave, foram completadas por outra.Pôde-se identificar questões técnicas bem definidas para os voos de VANT de asa fixa e de asas rotativas.

A conclusão do quadro comparativo é resultado de seis missões executadas com o mesmo equipamento, ou seja, para melhor aferir a eficiência e resposta às diferentes demandas e necessidades, compreendeu-se que seria necessário

finalizar todas as missões com o mesmo equipamento. Outro ponto importante foi à escolha do equipamento comercial.

A pesquisa foi iniciada comum equipamento desenvolvido; no entanto,após os testes iniciais e a dificuldade de reposição de material, optou-se por um modelo comercial, para não se perder os parâmetros de teste em diferentes momentos da pesquisa e condições ambientais.

O programa *Mission Planner* foi uma solução que se mostrou eficiente para os voos experimentais com o VANT utilizado.

3.2.4. Missões executadas

As atividades desenvolvidas foram realizadas em diferentes modelos de VANT de asas rotativas, mas foram concluídas conforme descrito anteriormente, que apresentou características mais favoráveis em relação aos testes iniciais feitos com outros modelos, de construção própria, e posteriormente na aquisição de outro modelo comercial e, por fim, no modelo atual que foi utilizado nas (6) seis últimas missões da pesquisa.

O primeiro teste foi realizado no período da tarde/noite,considerando a temperatura amena e com poucas rajadas de vento, ao longo dos 10 minutos de voo de reconhecimento e utilização dos equipamentos. Para esse primeiro teste no VANT de asas rotativas, as condições foram favoráveis,tanto para a coleta de imagens quanto às manobras e utilização do VANT e seus recursos.

Diferentemente dos aeromodelos de asa fixa, que são catapultados de base fixa ou lançados por uma pessoa, esse VANT (asas rotativas) sai de uma base fixa ou do solo; dessa maneira, não há dificuldades de levantamento de voo se os sensores e comandos estiverem respondendo positivamente,assim, o voo se inicia sem problemas. O primeiro teste foi realizado conforme descrito, com saída do solo.

Feita a rota pré-estabelecida, de tempo estimado de dez minutos, foram utilizados todos os comandos básicos, e puderam, dessa forma,ser trabalhados os perímetros estabelecidos para os testes em duzentos e cinquenta metros de raio (250m) do controlador,em área aberta,em altura de quarenta e cinco metros (45),e

com claridade suficiente para a coleta de imagens da cultura e entorno, bem como o retorno visual do VANT ao controlador da aeronave no seu ponto de partida.

Na segunda missão, o objetivo foi verificar o comportamento do VANT com outro componente embarcado. Nesse caso, foi utilizado uma câmera modelo SONY H10, foi possível perceber, em alguns momentos do voo,por questões de centro de gravidade do VANT, a utilização de maior potência na rotação, e, em algumas manobras, o VANT se mostrou pouco estável; essa correção pôde ser feita manualmente.

O teste aconteceu com as mesmas condições e com duração de sete minutos entre a decolagem e a rota estabelecida e o retorno ao ponto inicial.

O terceiro e quarto testes foram realizados com a câmera acoplada,utilizando as características de ambiente similares ao primeiro teste. Nesse momento, os objetivos das missões foram coletar informações do entorno, como rebanho, monitoramento de propriedade e retorno ao ponto inicial.Utilizou-se, para o teste, a mesma rota pré-estabelecida inicialmente.

Os testes cinco e seis foram diferentes.Foram realizados na modalidade autônoma, optando-se pelos mesmos parâmetros de local e ambiente externo, considerando agora somente o VANT sem nenhum equipamento embarcado, tornando o voo mais eficiente, no que diz respeito ao centro de gravidade e peso embarcado, tendo utilizado uma rota igual às iniciais, e o tempo estimado das duas missões foi de nove e onze minutos.

As primeiras missões serviram para demarcar o espaço aéreo de forma visual, e a possibilidade de resgate do equipamento, caso o mesmo apresentasse uma pane ou uma falha em voo.Nas duas missões não houve perda do equipamento, isso foi possível pelo fato de ter sido ajustado o equipamento em voo autônomo e dessa forma, foi ajustado com o retorno do controle na forma manual.

As duas missões foram concluídas sem prejuízos aos comandos e medidas pré-estabelecidas. Dessa forma, foi possível coletar as imagens e concluir as missões também na modalidade autônoma.

No Quadro 6 é apresentado um quadro com o resumo das missões consideradas para a pesquisa.

Salienta-se que foi uma opção do pesquisador apresentar somente um extrato de todas as missões executadas nos últimos três (3) anos, para dar-lhe maior segurança no manuseio, pois foi o próprio autor o controlador de todas as missões de reconhecimento e mapeamento desenvolvidas nessa pesquisa.

Considera-se que as missões iniciais serviriam como treino para as mais diferentes missões que seriam executadas e também, uma foi uma forma de capacitar o profissional condutor da pesquisa, para a utilização de equipamentos melhores, no entanto, mais caros. O dano causado no equipamento (VANT) poderia inviabilizar o término da pesquisa.

Outro fator relevante e que justifica o reduzido número demissões foi o problema de pilotagem em dias e altitudes com rajadas de vento, que prejudicaram e, em alguns casos, inviabilizaram a coleta de imagens e vídeos, pois as câmeras embarcadas se desprenderam ou foram deslocadas do foco correto em algumas missões executadas.

Quadro 6. Informações gerais das missões de voo com VANT em modalidade manual e autônoma

Tipo de voo	Teste com o VANT	Altura (m)	Velocidade (k/h)	Período	Condições ambientais	Tempo de voo (min)/Distância	Observação
Controle manual	1ª missão	45	25 em velocidade máxima, com parada nos pontos a, b e c.	Tarde – entre 16:50/18:00	Claro / Limpo / Sem ou pouco vento	10’/250 metros de raio percorrendo pontos a, b e c.	O voo foi de reconhecimento e aplicação prática dos controles e dispositivos do VANT. Teste foi realizado para reconhecimento do perímetro visual para as outras missões
	2ª missão	30	28em velocidade máxima, com parada nos pontos a, b e c.	Tarde 17:50/18:30	Claro / Limpo / Sem ou pouco vento	7’ /250 metros de raio percorrendo pontos a, b e c, com câmera embarcada – SONY H10	O voo foi de reconhecimento e aplicação prática dos controles e dispositivos do VANT com novo componente

							embarcado, o teste apresentou alguns momentos de instabilidade que foram corrigidos manualmente. O tempo de órbita nos pontos a, b e c foi menor.
	3ªmissão	45	20em velocidade máxima, com parada nos pontos a, b e c.	Tarde 16:30/17:40	Claro / Limpo / Sem ou pouco vento	9' /250 metros de raio percorrendo pontos a, b e c, com câmera embarcada – SONY H10	O voo foi de reconhecimento e aplicação prática dos controles e dispositivos da VANT conforme teste nº 1 e implemento de captura de mais informações do entorno, como plantações e pastagens, culturas em processo de plantio e/ou colheita e acompanhamento do gado nas pastagens .
	4ªmissão	30	30em velocidade máxima, com parada nos pontos a, b e c.	Tarde 16:30/17:40	Claro / Limpo / Sem ou pouco vento	8'/250 metros de raio percorrendo pontos a, b e c, com câmera embarcada – SONY H10	O voo foi de reconhecimento e aplicação prática dos controles e dispositivos da VANT conforme teste nº 1 e implemento de captura de mais informações do entorno, como plantações e pastagens, culturas em processo de plantio e/ou colheita e acompanhamento do gado nas pastagens .
Con	5ªmissão	20	25em velocidade máxima, com	Tarde 16:00/17:00	Claro / Limpo / Sem ou pouco vento	12'/ 250 metros de raio percorrendo	O voo foi realizado com as mesmas

			parada nos pontos a, b e c.			pontos a, b e c, sem câmera embarcada, somente acâmera do modelo de VANT	características,no entanto, sem a câmera embarcada, e na modalidade autônoma nos pontos e orbitas a, b e c. O teste teve como objetivo aferir a capacidade de coleta de imagens e/ouinformações importantes para o produtor, considerando os mesmos cenários, pastagens, plantações e monitoramento de rebanhos.
	6ªmissão	21	25em velocidade máxima com parada nos pontos a, b e c.	Tarde 17:00/18:00	Claro / Limpo / Sem ou pouco vento	14’/ 250 metros de raio percorrendo pontos a, b e c, sem câmera embarcada, somente acâmera do modelo de VANT	O voo foi realizado com as mesmas características,no entanto, sem a câmera embarcada, e na modalidade autônoma nos pontos e órbitas a, b e c. O teste teve como objetivo aferir a capacidade de coleta de imagens e/ouinformações importantes para o produtor, considerando os mesmos ambientes de coleta e imagens, ou seja, pastagens, plantações e monitoramento de rebanhos.

Fonte: elaborado pelo autor com base nos voos realizados

3.2.5 Áreas de monitoramento e execução das missões

Para cumprir todas as atividades propostas nesta dissertação, foram escolhidas, para todas as missões do projeto, três localidades: Goiânia, São Paulo e Pirassununga, no Campus da USP Pirassununga e Academia da Força Aérea.

As localidades apresentavam condições apropriadas, por se tratar de localidades com tempo seco e espaço experimental, por serem espaços que poderiam ser considerados experimentais para as práticas de voos com aeromodelos e porque possuíam temperatura em diferentes épocas do ano favoráveis à prática de pilotagem, bem como poucas mudanças climáticas drásticas, que poderiam ocasionar, por exemplo, perda de controle da aeronave ou mesmo dificuldade de cumprimento das missões.

Outro fator determinante para a escolha das áreas foi a proximidade e o acesso do pesquisador ao interior desses locais e por apresentarem o ambiente ideal para a pesquisa, envolvendo pastagens, plantação de diversas culturas em diferentes momentos do plantio e cultivo, rios, rebanhos bem como período de colheita, facilitando as missões e a coleta de imagens.

No próximo capítulo será possível analisar as diferentes atividades executadas pelo VANT e possíveis contribuições ao produtor de propriedades rurais, que eventualmente precisam utilizar essas informações para auxiliar na tomada de decisão e gestão da produção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando todas as missões e aplicações previstas para o trabalho, nesta sessão serão apresentados os resultados e discussões das atividades desenvolvidas.

Durante os testes iniciais, utilizando um veículo próprio desenvolvido, foi possível compreender que, tanto do ponto de vista da logística como em relação aos equipamentos e peças de reposição, o trabalho corria o risco de não se desenvolver, conforme cronograma apresentado no projeto inicial de pesquisa.

Diante do exposto, após alguns testes realizados, compreendeu-se que a melhor opção seria desenvolver o projeto utilizando um VANT (comercial) que pudesse ser substituído, a fim de cumprir a missão, e repor qualquer peça que eventualmente fosse danificada.

Dessa maneira,após aquisição de modelos comerciais, a pesquisa foi executada nas diferentes missões, com a possibilidade de rápida manutenção, possibilitando o cumprimento dos prazos estipulados para cada etapa e cronograma inicialmente estipulado.

Nos testes iniciais, foi possível coletar,em baixa altura, as informações iniciais e básicas para o produtor e gestor do agronegócio.

As missões, conforme descritas no capítulo anterior, foram realizadas em duas fases distintas: a primeira foi de voo na modalidade remotamente pilotada, utilizando as diferentes funções da aeronave e controles manuais; no segundo momento,foram realizadas missões na modalidade autônoma de voo, ou seja, com programação pré-estabelecida e com cumprimento da missão com os parâmetros estipulados de pontos e coleta de imagens e retorno ao ponto inicial.

O voo autônomo, por se tratar de um dos objetivos da pesquisa, foi desenvolvido com aplicativo descrito no capítulo anterior. Salienta-se que, a pesquisa se desenvolveu e cumpriu os objetivos propostos e descritos no capítulo introdutório.

Na coleta de imagens nas missões propostas são apresentadas as que fizeram parte dos testes e que puderam ser consideradas com qualidade e que efetivamente podem ser utilizadas pelos gestores de propriedades para a tomada de decisão.

No decorrer do projeto, foram realizadas inúmeras coletas de imagens e gravações a fim de determinar melhor posicionamento da câmera quando embarcada ao VANT e, dessa forma, foi possível coletar imagens mais próximas das necessidades e dos objetivos de cada missão de reconhecimento.

Considerando o capítulo anterior, a pesquisa teve o intuito de apresentar diferentes aplicações do uso de VANT de asas rotativas, que compreendemos serem questões pontuais e necessárias para cada tipo de demanda do campo.

Entendemos que evidenciar algumas das práticas e aplicações mais simples e comuns nessa atividade no agronegócio pode ratificar a aplicação e a potencialidade desse equipamento, nas diferentes atividades do agronegócio.

Dentro do contexto apresentado, na Figura 29, o objetivo foi testar os controles e respostas do voo efetuado.Conforme descrito anteriormente, o voo foi de baixa altura e com objetivo de percorrer pontos predeterminados (Quadro 6).O teste foi finalizado e cumpriu normalmente os parâmetros iniciais, com resposta positiva de comandos e captação de imagem da localidade.

Como característica de voo, optou-se pela captação de imagem a baixa altura e com aferição visual. A ideia inicial era mapear o local e comparar visualmente os pontos completados na missão de voo autônomo com missões de mesma natureza. Em relação à altura e espaço percorridos, poderia ser possível a verificação e acompanhamento no momento do voo autônomo.

Figura 29. Teste de captação de imagem de pastagem

Fonte: Própria autoria

Como forma de identificar situações de risco para a produção e animais, na Figura 30, além das informações contidas na Figura29, no mesmo sobrevoo, podem ser captados locais da propriedade com capacidade hídrica, bem como rotas de acesso e transporte. Essas informações são consideradas importantes no levantamento em serviços de transporte logístico e capacidade hídrica local.

Essas questões são destacadas como uma possibilidade de novos serviços e soluções para o agricultor (MEDEIROS, 2007; JORGE; INAMASU, 2011).

Figura 30. Teste de captação de imagem, rotas de acesso e capacidade hídrica local

Fonte: Própria autoria

Nos testes realizados, o pesquisador optou por realizá-los no período da tarde, por volta das 17 horas, para evitar claridade excessiva. Com essa escolha, os testes e ajustes necessários nos equipamentos ocorreram sem problemas.

As imagens também foram coletadas a baixa altura, favorecendo as informações tanto da pastagem como do rebanho (Figura 31).

Figura 31. Teste de captação de imagem, rebanho, deslocamento e pastagem

Fonte: Própria autoria

Nas atividades de coleta de imagens que se seguiram,foi possível identificar, em momentos distintos, a aglutinação do rebanho, local de permanência e visão ampla do pasto e do rebanho.

Alguns pesquisadores apresentados na revisão da literatura compreendem que essas atividades de coleta são de suma importância para o produtor, desde o conhecer a propriedade e suas particularidades, até compreender o desenvolvimento dos animais (MEDEIROS, 2007; JORGE; INAMASU, 2011).

As imagens também foram coletadas ainda em baixa altura para favorecer informações mais precisas, tanto dos animais quanto da localidade e do pasto conforme indicam os autores pesquisados que trabalham com as atividades do campo (Figura 32).

Figura 32. Captação de imagem de pastagem e rebanho e deslocamento no pasto (a)

Fonte: Própria autoria

O intuito dessa missão foi fazer uma varredura do local e dos animais na propriedade (Figura 33). Como foi destacado, os veículos aéreos têm sido uma nova possibilidade essas demandas no campo (JORGE; INAMASU, 2011), e cumprindo assim um papel importante de coleta de informações.

Figura 33. Captação de imagem de pastagem e rebanho e deslocamento no pasto (b)

Fonte: Própria autoria

As imagens a seguir são referentes ao pasto e local reservado para pastagem do rebanho e fazia parte de um dos pontos de órbita pré-estabelecidos em sistema *Mission Planner*, conforme já apresentado, como pontos ñaò, ñbò e ponto ñcò, com isso,foi possível aferir na coleta de imagem a qualidade das atividades de voo autônomo.

Figura 34. Captação de imagem de pastagem

Fonte: Própria autoria

As Figuras 33, 34 e 35 são de outra perspectiva dos pontos pré-definidos; no entanto, as missões, conforme descrito no Quadro 6, apresentam outro equipamento embarcado, e foram realizados os mesmos percursos e tomadas anteriores.O objetivo foi testar o comportamento da aeronave com outro equipamento embarcado, testar os controles e resposta do equipamento.

Os testes foram favoráveis e responderam de maneira positiva, uma vez que somente houve maior torque nos rotores por conta da nova carga e, em alguns momentos, por conta do centro de gravidade e/ou vento, houve necessidade de ajuste manual para garantir a estabilidade do equipamento.

Figura 35. Captação de imagem de pastagem e capacidade hídrica e via de acesso

Fonte: Própria autoria

Os testes seguintes foram executados da mesma forma, com equipamento embarcado, área percorrida, pontos ñaò, ñbò e ponto ñcò correspondentes a 250 metros de raio.

Na Figura 36 é possível ver a tomada principal de início de orbita das missões e os pontos definidos inicialmente.

Figura 36. Captação de imagem de pastagem e capacidade hídrica com via de acesso

Fonte: Própria autoria

A atividade seguinte de aferição de controles de voo, teve o objetivo de coletar imagens da vegetação da localidade e realizar os primeiros testes de voo autônomo.

Diante do exposto, os testes seguintes foram executados da mesma forma que os iniciais.Nesse momento foi retirada a câmera fotográfica acoplada ao VANT e foram feitas as primeiras tomadas na modalidade de voo autônomo.

Os parâmetros foram os mesmos definidos anteriormente, pontos ñaò, ñbò e ñcò inicialmente colocados como pontos de análise e de segurança, uma vez que poderia em modalidade de voo autônomo perder o equipamento.

A imagem da Figura 37 é o início da atividade de voo autônomo, que teve seu registro desde a saída do solo até seu retorno ao ponto inicial.

Os autores aqui apresentados, compreendem que as novas demandas aprimoram as inúmeras atividades do campo (JORGE; INAMASU, 2011). Essas atividades vêm se tornando mais comuns ao passar do tempo.

Figura 37. Captação de imagem de vegetação da localidade próxima aos acessos

Fonte: Própria autoria

A modalidade que se estendeu para as missões seguintes foram de vôos autônomos.Na primeira tomada, o objetivo foi captar a vegetação, aferir os pontos ñaò ñbòe ñcò bem como fazer checagem das tomadas e visão da propriedade.

Figura 38. Captação de imagem de vegetação da localidade, proximidade ao centro

Fonte: Própria autoria

Na próxima tomada, a busca de imagens em baixa altitude teve como objetivo aferir o solo, manchas de erosão e qualidade de pasto, informações e dados que

são de suma importância para o gestor e produtor rural (CHAVES; LA SCALEA; COLTURATO; KAWABATA; FURTADO; CASTELO BRANCO, 2015).

Figura 39. Captação de imagem de vegetação da localidade, visão global da pastagem

Fonte: Própria autoria

A atividade desenvolvida conforme Figura 40 foi de retorno orbital realizado pelo VANT, nos pontos definidos. Foi possível desenvolver todos os testes e aferições também na modalidade autônoma.

Figura 40. Captação de imagem de vegetação da localidade e perspectiva da capacidade hídrica

Fonte: Própria autoria

No segundo teste de voo autônomo, foram observados outros pontos importantes.Na Figura 41, o intuito foi coletar imagens da vegetação e principalmente o levantamento de faixa APP, manchas de erosão no solo, vegetação

e rotas e vias de acesso. Na Figura 43 será possível ter ideia de faixa APP bem como os limites e aferir sua aplicação e atendimento.

Figura 41. Captação de imagem de vegetação da localidade e perspectiva da capacidade hídrica e leito do rio, verificação de APP, levantamento topográfico

Fonte: Própria autoria

Na Figura 42, retorno do VANT ao ponto de partida, já com o intuito de retorno e captação de qualidade do pasto e vegetação rasteira.

Figura 42. Captação de imagem de monitoramento de rebanho

Fonte: Própria autoria

Na Figura 43 com voo autônomo na localidade de Pirassununga, é possível fazer melhor avaliação das faixas de APP, localidades plantadas, manchas de erosão e levantar nesse tipo de coleta de imagem eventuais falhas na plantação.

As questões aqui levantadas como possibilidade de serviços ao produtor, são discutidas pelos autores (SUGIURA *et* al., 2005; HUNT *et* al., 2010; LALIBERTE *et*

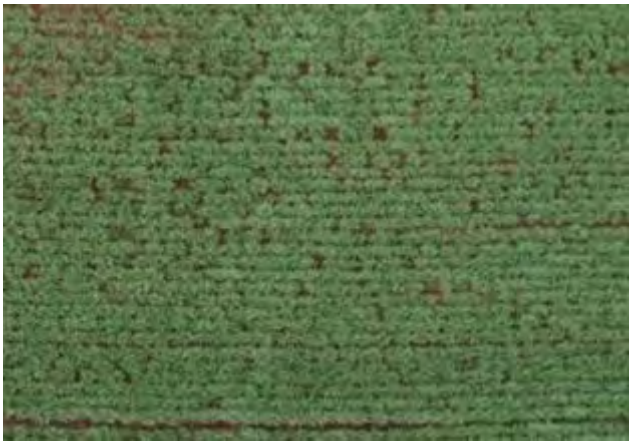
al., 2011). Para os autores, há inúmeras possibilidades de uso quando as imagens são trabalhadas e servem como indicadores para outras atividades no contexto do agronegócio.

Figura 43. Captação de imagem de monitoramento de APP e erosão do solo

Fonte: Própria autoria

A Figura 45 refere-se à tomada com objetivo de aferir desenvolvimento do plantio, a foto foi retirada com a câmera acoplada ao VANT, em altura de 120 metros, com essa atividade é possível identificar mancha ou falha visível e levantar mais detalhes da plantação.

Figura 44. Levantamento de falhas na plantação e monitoramento de culturas



Fonte: Autoria própria

O projeto inicial de aplicar VANT de asas rotativas na atividade de mapeamento e levantamento de imagens de plantio e rebanho aconteceu em diferentes épocas e lugares da região de Pirassununga.

De acordo com o apresentado, e por meio das análises dos resultados do trabalho, pode-se compreender sobre a relevância dessa atividade para a produção, gestão e para o produtor como detentor desse tipo de serviço ou mesmo, como usuário do serviço.

A tecnologia apresentada, seu uso e as atividades disponíveis são em sua maioria ferramentas que potencializam o negócio, e que de certa forma podem auxiliar ainda mais o produtor.

O ponto que se destaca nessa atividade na agricultura é a capacidade de monitoramento, aferição de informação, acompanhamento de produção, bem como o monitoramento dos animais e da propriedade, tanto na modalidade apresentada inicialmente (manual) como na atividade que vem se tornando mais usual no mundo atual, a modalidade autônoma.

5. CONCLUSÕES

É crescente ouso de VANTs na agricultura de precisão, e a tendência é que essa atividade continue progredindo, uma vez que a tecnologia está se tornando mais acessível, com vários aplicativos e programas gratuitos, potencializando ainda mais o desenvolvimento de experimentos para diferentes usos. A confiabilidade de implementação de aeronaves VANT e diferentes sensores vem transformando a agricultura.

Todo o sensoriamento remoto que se faz com satélites e aviões tripulados estão disponíveis nos VANTs, ou seja, as atividades tendem a migrar para o uso dos VANTs, e os sistemas estão cada vez mais fáceis de operar, tornando-se viáveis, para uso na cidade e principalmente no campo.

Conforme apresentado, mesmo com essa facilidade, há uma preocupação com a irresponsabilidade no uso dos equipamentos e com acidentes aéreos.Nesse sentido, a ANAC, responsável pela autorização do uso desse tipo de aeronaves, tem mantido grupos discutindo regulamentações,mesmo as normativas já aprovadas.

A atividade com VANT de asas rotativas atendeu a diferentes necessidades, por ser uma aeronave remotamente pilotada. Nos testes e experimentos desenvolvidos nesta pesquisa, mostrou ser uma ferramenta viável e de auxílio ao produtor em diferentes aplicações, tornando-se, assim, mais uma ferramenta para uso na agricultura de precisão.

Considera-se que esse caminho deva ser ampliado com acesso cada vez maior aos programas e informações, bem como às novas tecnologias e soluções disponíveis no mercado.

Foi possível identificar por meio dos testes que os equipamentos e sensores atrelados aos diferentes sistemas apoiadores e aplicativos potencializam ainda mais as possibilidades do uso do VANT e, para tanto, a pesquisa contou com missões de voo manual e também autônomo.

Mesmo, considerado um experimento inicial, foi possível identificar o potencial desses serviços, tornando-se cada vez mais acessíveis e presentes no cotidiano do campo, mais especificamente, o agronegócio e na agricultura de precisão.

Todas as atividades iniciais propostas foram executadas, isso de alguma maneira atende os pressupostos da pesquisa, que teve como fio condutor o atendimento aos objetivos pontuados no primeiro capítulo da dissertação.

Como objetivos propostos inicialmente e concluídos foi possível destacar e: a) a apresentar diferentes aplicações do VANT de asas rotativas na agricultura de precisão, questão desenvolvida no capítulo de revisão da literatura, b)compreender as potencialidades do VANT nas diferentes atividades do campo, principalmente no mapeamento e monitoramento de culturas e rebanho e por fim, c) desenvolver aplicações práticas de voo com testes de coleta de imagem e tratamento de imagem, com o uso de soluções tecnológicas com característica autônoma.

Diante do exposto, compreende-se que as atividades propostas para a pesquisa foram atendidas de maneira integral.

Como sugestão de novos trabalhos, orienta-se que os trabalhos com VANT de asas rotativas sejam realizados e pesquisados, e que essa nova pesquise se debruce sobre os novos meios de promover maior autonomia para as aeronaves de asas rotativas. A pesquisa realizada aponta que esse ainda é um fator determinante para a maior abrangência desse modelo de aeronave.

REFERÊNCIAS

ALONÇO, A. dos S. *et*al. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado (VANT) para utilização em atividades inerentes à agricultura de precisão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2005, Canoas. **Anais**... Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.

ANTUNIASSI, U.R.; SALVADOR, A. **Análise de imagens aéreas para mapeamento de plantas daninhas em sistemas de agricultura de precisão**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2002, Viçosa. **Anais**... Viçosa: UFV, 2002. 1 CD-ROM.

ANSELMI, Adriano Adelcino. **Adoção da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <www.bibliotecadigital.ufrgs.br/>. Acesso em: 10 jun. 2015.

ALVES, Olinda De Lima Farias. **Planejamento e Controle de Missões de um VANT de asa fixa.** 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

ALVES NETO, Armando. **Geração de trajetórias para veículos aéreos autônomos não tripulados.** 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado) ī Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ANSELMI, Adriano Adelcino. **Adoção da agricultura de precisão no rio grande do sul**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado) ī Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <www.bibliotecadigital.ufrgs.br/>. Acesso em: 01 jun. 2015.

BASTOS, K. **Céu de Brigadeiro**. 18 jun. 2011. Disponível em: <http://fisikanarede.blogspot.com.br/2011/06/ceu-de-brigadeiro.html>. Acesso em: 29 ago. 2015.

BALSAN, Rosane. **Impactos Decorrentes da Modernização da Agricultura Brasileira.**Uberlândia, v.1, n.2, p.123-151, 2006.

CHAVES, A. N. CUGNASCA, P. S. **Proposta de modelo de veículo aéreo não tripulados (VANTS) cooperativos aplicados a operações de busca**. Dissertação (Mestrado) ï Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. 149f.

FONSECA, Erika Guimarães Pereira da; BEPPU, Mathyan Motta. **Apostila Arduino.** Disponível em: <http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/arduino/Tut_Arduino.pdf>. Acesso em: 27 out. 2012.

FREITAS, Eduardo. **A revolução dos VANTs.** Disponível em: <http://www.baguete.com.br/artigos/1077/eduardo-freitas/10/10/2012/a-revolucao-dos-vants>. Acesso em: 01 maio 2013.

FURTADO, Vitor Hugo et al. **ASPECTOS DE SEGURANÇA NA INTEGRAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT) NO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO.** Disponível em: <http://www.tgl.ufrj.br/viisitraer/pdf/494.pdf>. Acesso em: 01 maio 2013.

FONTANARI, Athos Alexandre Lima. **Sistema de planejamento e controle de missão de um veículo aéreo não tripulado aplicado em redes de sensores sem fio.** 2011. 82 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FREITAS, Eduardo. **A revolução dos VANTs.** Disponível em: <http://www.baguete.com.br/artigos/1077/eduardo-freitas/10/10/2012/a-revolucao-dos-vants>. Acesso em: 01 maio 2013.

FRIGOTTO, Gaudêncio. **Cidadania, tecnologia e trabalho:** desafios de uma escola renovada. Tecnologia Educacional. Rio de Janeiro, v.21, n. 107, p. 04-10, jul./ago. 1992, apud SAMPAIO, Marisa Narcizo; LEITE, Lígia Silva. Alfabetização Tecnológica do Professor. 3.ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 1999.

GARRIDO, Roberto Ortiz. **Aplicação da síntese de supervisores de sistemas híbridos ao planejamento de missões de veículos aéreos não tripulados.** 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

JORGE, Lúcio André de Castro; INAMASU, Ricardo Yassushi; CARMO, Rhendrix Borges do. **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em Agricultura de Precisão no Brasil**.In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 399-406. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <http://urlib.net/3ERPFQRTRW/39UFN8H>. Acesso em: 28 jul. 2015.

KENSKI, Vani Moreira. **Educação e Tecnologias:** O Novo Ritmo da Informação. 5.ed. Campinas, SP: Papirus, 2007. (Coleção Papirus Educação).

LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993, apud SAMPAIO, Marisa Narcizo; LEITE, Lígia Silva. Alfabetização Tecnológica do Professor. 3.ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 1999.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto:** Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) ī Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MEDEIROS, Fabricio Ardais. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para Aplicação em Agricultura de Precisão**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MIRANDA NETO, Arlindo Bastos de; ALMEIDA, Isnard Edson Sampaio de. **A Análise do Emprego do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) nas Ações e Operações PM.** 2009. 87 f. Universidade do Estado da Bahia, Salvador, 2009.

PAULA, Júlio César.**Desenvolvimento de um vant do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição.** Curitiba, 2012. 104 f.Dissertação (Mestrado)Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná

RASI, José Roberto. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em pulverização agrícola.** 2008. 70 f. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

TEIXEIRA, Bruno Eduardo. **Utilização de veículo aéreo não tripulado de asa fixa no monitoramento e coleta de imagem de animais e ambientes em propriedades rurais**. 2016. 80f. Dissertação (Mestrado) ï Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

TEIXEIRA, Bruno Eduardo; CHIACCHIO, S. S. R.**Projeto VANT: aplicação do conceito no desenvolvimento de uma bomba teleguiada por GPS no clube de guerra eletrônica**. In: VI EPESM, 2014, Pirassununga. VI EPESM O ensino superior militar e a formação para os campos de batalha: Guerra eletrônica, defesa cibernética, choque cultural, mídia e comunicação social, Academia da Força Aérea, Pirassununga, 2014.