

# Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão

Lúcio André de Castro Jorge, Ricardo Y. Inamasu

Embrapa Instrumentação – São Carlos, SP

E-mail: [lucio.jorge@embrapa.br](mailto:lucio.jorge@embrapa.br); [ricardo.inamasu@embrapa.br](mailto:ricardo.inamasu@embrapa.br)

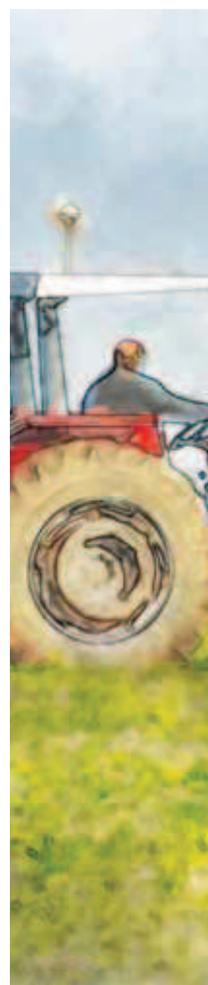
**Resumo:** O Interesse em veículos aéreos não tripulados (VANTs), também denominados de drones, está crescendo em todo o mundo, e em especial no Brasil, e vários esforços estão em andamento visando integrar as operações de VANT rotineiramente e com segurança em agricultura de precisão. Atualmente, as operações de VANT se limitam ao uso especial do espaço aéreo ou são limitados em seu acesso, por razões de segurança, por um processo de autorização de uso coordenado pela ANAC. Este capítulo fornece o contexto de desenvolvimento de VANT no Brasil, descreve as iniciativas em curso, e avalia as questões relacionadas com a integração de VANTs em agricultura de precisão. Questões relacionadas com aplicações potenciais na agricultura, tipos de sensores e aviões, as limitações de cada um e os resultados de utilização são avaliados. A intenção ao descrever os problemas e propor recomendações não é sugerir um conjunto de questões conclusivas, pois a área está em pleno desenvolvimento, mas sim para estimular a discussão, construir consensos e promover o planejamento estratégico entre as organizações que têm uma participação no surgimento de VANTs em agricultura de precisão.

**Palavras-chave:** VANT, drone, monitoramento agrícola, imagens, agricultura de precisão.

## *Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Precision Agriculture*

*Interest in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), called drones, is growing worldwide, and in special in Brazil, and several efforts is underway to integrate UAV operations routinely and safely into precision agriculture. Currently, UAV operations are confined to special-use airspace or are limited in their access, for safety reasons, by a restrictive authorization process of ANAC. This chapter provides a context of Brazil UAV developments, describes current initiatives, and frames and assesses the issues associated with the integration of UAVs in precision agriculture. Reviewed are issues related to potential applications in agriculture, kinds of sensors and aircrafts, limitations of each one and results of use. The intent in describing the issues and proposing recommendations is not to suggest a conclusive set of issues nor to provide a prescriptive direction, because the area is in full development, but rather to stimulate discussion, build consensus, and promote strategic planning among the organizations having a stake in the emergence of UAVs into precision agriculture.*

*UAV, drone, aerial monitoring, images, precision agriculture.*



## 1. Introdução

O desenvolvimento dos veículos aéreos não tripulados (VANTs) surgiu como uma importante opção na agricultura de precisão. Sua aplicação na área agrícola e em missões de reconhecimento vem sendo favorecida e facilitada pelo atual estágio de desenvolvimento tecnológico, principalmente pela redução do custo e do tamanho dos equipamentos e pela necessidade de otimização da produção.

O termo “Veículo Aéreo Não Tripulado” é mundialmente reconhecido e inclui uma grande gama de aeronaves que são autônomas, semiautônomas ou remotamente operadas. Segundo a ABA - (Associação Brasileira de Aerodelismo), a definição para Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é: “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 autônomo”. O Sistema Aéreo Não Tripulado (SANT) significa o conjunto de veículos aéreos não tripulados, seus controles de voo e seu sistema de operação, isto é, a união de todas as atividades que estão interligadas no plano de voo (Rasi, 2008).

O interesse em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) tem crescido ao redor do mundo. 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. Hoje, mais de 40 países tem trabalho de desenvolvimento de VANT para diferentes mercados. 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. Outros países incluem o Japão, Coreia do Sul, Austrália, França, Inglaterra, Itália, Alemanha e África do Sul. O Japão se destaca com mais de 2000 VANTs aplicados em pulverização e outras aplicações na agricultura (SIMPSON, 2003; DE GARMO, 2004).

Apesar dos avanços no século passado, os VANTs ainda são considerados por muitos como estando em sua fase embrionária. As tecnologias que estão sendo empregadas em VANTs hoje estão evoluindo rapidamente e se apresentam com grande promessa. Os sistemas autônomos estão se tornando mais sofisticados e confiáveis. VANTs,

em virtude da sua capacidade para assumir as missões de alto risco e seu potencial para operações de baixo custo em relação à aeronave tripulada, tem se tornado uma proposta ideal para o desenvolvimento de novas tecnologias. Pesquisas em áreas tais como novos materiais, células de combustível, software adaptativo; memórias; comunicações e laser poderão remodelar o mercado de novas aplicações.

Przybilla e Wester-Ebbinghaus (1979) fizeram 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 aceitáveis mesmo em movimento. Zischinsky et al. (2000) usaram imagens obtidas com um modelo do tipo helicóptero para obtenção do modelo 3D de uma mina. Estudos na agricultura começaram despertar interesse logo cedo (ALBERS; NYQUIST; PURDY, 1996; SNYDER et al., 1999; JOHNSON et al., 2001).

Em especial, neste momento, existem vários desafios e perspectivas e para a agricultura destacando-se o monitoramento de recursos naturais, meio ambiente, atmosfera, imageamento hiperespectral, observações de rios e lagos, bem como o imageamento de práticas agrícolas e uso do solo (JORGE et al., 1999; JORGE, 2001; JORGE, 2003; EISENBEISS, 2004). Herwitz et al. (2004) realizaram um mapeamento de 1500 ha de plantações de café no Havaí, obtendo imagens multiespectrais coloridas de alta resolução com um VANT.

No Brasil, os primeiros relatos de VANT's ocorreram na década de 80, quando o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) desenvolveu o projeto Acauã. Este tinha fins militares especificamente e ficou desativado depois sendo, somente em 2007, reativado por uma iniciativa do governo de incentivo ao desenvolvimento de VANT no Brasil. Na área civil, também na década de 80, se destaca o projeto Helix, um VANT de asa móvel que foi desativado nos anos seguintes por falta de mercado e incentivo do governo. Mais tarde, o Cenpra desenvolveu o projeto do dirigível AURORA (*Autonomus Unmanned Remote Monitoring Robotic Airship*) (Medeiros, 2007), que serviu para capacitar a equipe de desenvolvimento. Dentre as aplicações civis, principalmente focado na agricultura surgiu o

projeto ARARA (Aeronave de Reconhecimento Assistida por Radio e Autônoma) (Jorge, 2001). Seu principal objetivo foi a substituição de aeronaves convencionais utilizadas na obtenção de fotografias aéreas, para monitoramento de áreas agrícolas e áreas sujeitas a problemas ambientais, por VANT's de pequeno porte que realizam missões pré-estabelecidas pelos usuários. De 1999 a 2005 foi feito um grande esforço no desenvolvimento da aeronave de asa fixa deste projeto patenteada pela Embrapa (JORGE, 2004), chegando a uma operação completamente autônoma em 2006 (TRINDADE JUNIOR; JORGE; AGUIAR, 2004; Jorge et al. 2004).

A AGX Tecnologia Ltda., São Carlos, criada em 2002, utiliza a tecnologia ARARA para fins comerciais no Brasil, utilizando uma nova versão do VANT, totalmente construída em fibra de vidro e alumínio aeronáutico. Com 2,3 m de comprimento e 3,2m de envergadura e equipado com motor a gasolina de 40 cm<sup>3</sup> e 4,8 cv.

De acordo com Medeiros (2007), as pesquisas nessa área, no Brasil, ainda são muito recentes e os principais trabalhos com VANT's têm no escopo as aplicações civis, como vigilância policial de áreas urbanas e de fronteira, inspeções de linhas de transmissão de energia, monitoramento, atividades de áreas agrícolas, acompanhamento de safra, controle de pragas e de queimada.

A Embrapa investiu no desenvolvimento de outra plataforma e outra aeronave que fosse capaz de operar nas condições de campo adversas, que são áreas agrícolas, porém, com bom desempenho e baixo risco. Inspirados pelo exemplo da Yamaha, que iniciou o desenvolvimento do helicóptero sem piloto (RMax) (OZDEMIR, 2005) muito flexível e preciso durante a pulverização para controle de pragas em culturas de arroz, soja e trigo, a Embrapa iniciou a busca de uma solução por uma plataforma similar, desenvolvendo em conjunto com a Rotomotion uma nova solução para aplicações agrícolas. Além da aeronave, estão sendo desenvolvidos softwares e sistemas de captura de imagens adequados para as diferentes aplicações agrícolas.

Também no Brasil outras iniciativas criadas em universidades, se tornaram empresas que começam a atender o mercado com diferentes tipos de VANT, como, por exemplo, empresa Flight Solutions, a XMobots, a Airship, a Skydrones, dentre outras. Além das iniciativas

destas empresas, com a facilidade de componentes disponíveis via internete, mais de 2000 sistemas já foram montados e se encontram em operação no Brasil.

## 2. Componentes de um VANT

Além da aeronave, o VANT é composto de uma estação de controle em solo, o (*Ground Control Station*) GCS através da qual é possível planejar a missão a ser executada e acompanhar todo o trabalho realizado remotamente. Em geral possibilita visualizar o mapa do local a ser monitorado, com a referência da posição do VANT.

O VANT possui também um (Sistema de Posicionamento Global) GPS acoplado, assim como, uma unidade de navegação inercial. O veículo não aceita comandos de movimento diretamente ligados pelo GPS, devido a grande margem de erro deste, recorrendo a uma unidade de navegação inercial (IMU) garantindo uma melhor precisão da posição. A navegação inercial é utilizada por foguetes, submarinos, navios também para determinar coordenadas.

Uma unidade de navegação inercial nada mais é que um sistema de navegação que integra as acelerações em Norte/Sul, Leste/Oeste por meio de sensores inerciais, determinando a posição. Segue abaixo listada algumas vantagens da navegação inercial:

- Não necessita de informação exterior;
- Não requer emissões ou recepções de sinais;
- Imune a interferências.

O piloto automático ou *Autonomous Flight Control System* (AFCS) é um pacote integrado normalmente fornecido pelo fabricante. O AFCS recebe o controle da estação de solo (GCS) através da telemetria de controle do sistema que atua de forma autônoma. Em geral consiste de 5 componentes:

- Unidade Inercial (IMU) 3 eixos, em geral com 6 graus de liberdade;
- Magnetômetro de 3 eixos;
- GPS;
- Sistema de radio com interface de servo e *safety pilot* ;
- Computador de voo.

Na Figura 1 podem ser vistos exemplos de CGS. Inclusive algumas já disponíveis para dispositivos móveis como celulares.

Segundo Neris (2001), os VANTs têm como componente principal um sistema de controle capaz de manter a aeronave estabilizada e de executar manobras que a conduza através de uma rota e missão selecionada. Atualmente o desenvolvimento de sistemas de controle de voo para esse tipo de aeronave está sendo favorecido e facilitado pelo grande desenvolvimento tecnológico verificado nos últimos anos e principalmente pela redução dos custos dos componentes eletrônicos. Isto permite que um grande número de empresas possam construir VANTs com sistemas de controle, para comercialização. Existem sistemas disponíveis gratuitamente na internet, como o Ardupilot, que pode ser configurado por qualquer pessoa e funciona perfeitamente.

### 3. Tipos de VANT

De acordo com Medeiros (2007), “os veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) são pequenas aeronaves, sem qualquer tipo de contato físico direto, capazes de executar diversas tarefas, tais como monitoramento, reconhecimento tático, vigilância e mapeamento entre outras”. Porém, os VANTs têm limitação em termos de capacidade de carga a bordo e condições climáticas. Se equipados com equipamentos de transmissão de dados, são capazes de transmitir, em tempo real os dados recolhidos. Sendo assim, as aeronaves não tripuladas têm sido projetadas para vários tipos de missão, mas o relato que se tem é que a origem desses veículos está ligada à área militar, como alvos aéreos manobráveis, reconhecimento tático, guerra eletrônica, entre outras. Os mísseis antinavios, bombas guiadas propulsadas ou planadas também são classificadas como aeronaves não tripuladas.

Na Figura 2 podem ser observadas as áreas de coberturas dos VANTs comparadas com as de satélites e aeronaves tripuladas. Em geral, apesar da cobertura ser menor, se ganha em flexibilidade de uso, tornando muito útil para a agricultura.

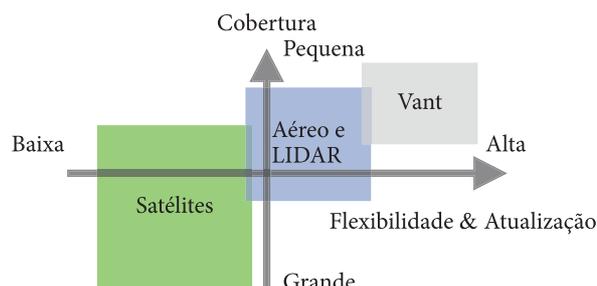
De uma forma geral os VANTs são classificados segundo sua categoria funcional como alvos, sistemas de reconhecimento ou monitoramento, combate, logística e de P&D.

Na Figura 3 pode ser visualizado a diferença de resolução que se consegue com os VANTs comparada com satélites convencionais.

A escolha da altitude de voo é feita visando evitar obstáculos, em geral de até 80 metros, e garantindo que o ângulo de distorção mínimo. A escolha de um voo mais alto possibilita menos voos, uma vez que se cobre mais área voando mais alto. O voo mais alto é recomendado em terrenos com muitas variações de relevo.



**Figura 1.** Exemplos de GCS (Fonte: Telas capturadas das interfaces utilizadas na Embrapa por Lúcio André de Castro Jorge).



**Figura 2.** Comparação de VANT com sistemas aéreos e satélites. (Fonte: Lúcio André de Castro Jorge).

Quanto ao alcance e altitude os VANTs são classificados como:

- *De mão*, com 600m altitude e alcance 2km;
- *Curto alcance*, com 1500m de altitude e 10km de alcance;
- *OTAN*, de 3000m de altitude e alcance até 50km;
- *Tático*, de 5500m de altitude e alcance de 160km
- *MALE* (altitude média, alcance longo), até 9000m de altitude e alcance de 200km;
- *HALE* (altitude alta, alcance longo), acima de 9100m e altitude e alcance indefinidos;
- *HIPERSÔNICO*, 15200m de altitude e alcance acima de 200km;
- *ORBITAL* em baixa órbita;
- *CIS*, transporte lua-terra.



**Figura 3.** Diferença de resolução entre satélite e imagem de VANT (Fonte: Adaptado de apresentação Skydrones no Seminário VANTs promovido pela MundoGEO em 2012 evento Sensoriamento Remoto México).

Além do alcance e altitude, diferem em asa fixa ou rotativa. O de asa rotativa, pode ser do tipo helicóptero convencional ou multirotor. A configuração típica pode ser vista na Figura 4.

O veículo aéreo não tripulado do tipo multirotor é uma plataforma aérea com sofisticada eletrônica embarcada que permite transportar diferentes sistemas de captura de imagens. Sua instrumentação aviônica e sistemas de controle permitem voos com alta estabilidade com reduzido tempo de treinamento operacional. Seu tamanho compacto, facilidade de operação, segurança e custo operacional reduzido, tornam esta classe de VANTs a mais interessante para operação em mercados que tem as seguintes necessidades:

- tempo curto de operação;
- pouca ou nenhuma equipe de apoio;
- pouca ou nenhuma infraestrutura de terra;
- facilidade de transporte;
- distância e áreas de cobertura de pequeno a médio tamanho (ou duração);
- voo assistido por GPS ou totalmente autônomo seguindo dados pré-programados;
- necessidade de imagens com resolução superior às imagens de satélite;
- necessidade de acessar pontos difíceis.

Os multirotores oferecem um conjunto de vantagens tecnológicas que otimizam sua performance, tais como: Estabilização autônoma das atitudes em voo da plataforma obtido pelo



**Figura 4.** Modelos de VANTs (ANDRADE, 2013).

acionamento direto de quatro ou mais hélices e sistema de controle embarcado; Pouso e decolagem vertical (vtol) permitindo uso em espaço restrito, necessitando apenas 1m<sup>2</sup> de área; Possibilidade de programação de voo estacionário ou avanço em alta velocidade até pontos pré-determinados (coordenadas geográficas), por computador; Comando de retorno autônomo para a base operacional; Baixo peso da plataforma e alto potencial de carregamento (sensores e câmeras embarcados); Possibilidade de uso de câmeras especiais, como infravermelho (FLIR) e de alta resolução (HD) de foto e vídeo; Estação Base (em terra) com integração de dados de voo, captura de imagem e cartografia; Alta capacidade de customização para diferentes aplicações. Alta convergência de tecnologias como: TI, robótica, nanotecnologia, materiais compostos, miniaturização de sensores e poder de processamento embarcado.

No entanto, em geral usa motores elétricos e cuja bateria não supera os 30 minutos de operação e a capacidade de carga (payload): 800g a 4Kg. Em geral possuem estabilização de atitude para câmeras e sensores.

O VANT de pequeno porte como o tipo asa delta também é uma opção interessante para a área agrícola. No entanto são também muito susceptíveis aos ventos fortes. Mas de uma forma geral é o que menos apresenta problemas de operação para usuários novos. Na Figura 5 podem ser vistos os modelos e fabricantes dos principais sistemas presentes hoje no Brasil.

Na Tabela 1 podem ser observadas as principais vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de VANT segundo a asa, fixa ou rotativa. Os aspectos que foram citados por Medeiros (2007) foram as condições de campo (área livre para pouso e decolagem), custo (valor para o desenvolvimento do VANT), fatores climáticos (condições meteorológicas), trajetória (capacidade de manter uma rota pré-determinada) e transporte (condições de acomodamento para o transporte).

#### 4. Sensores

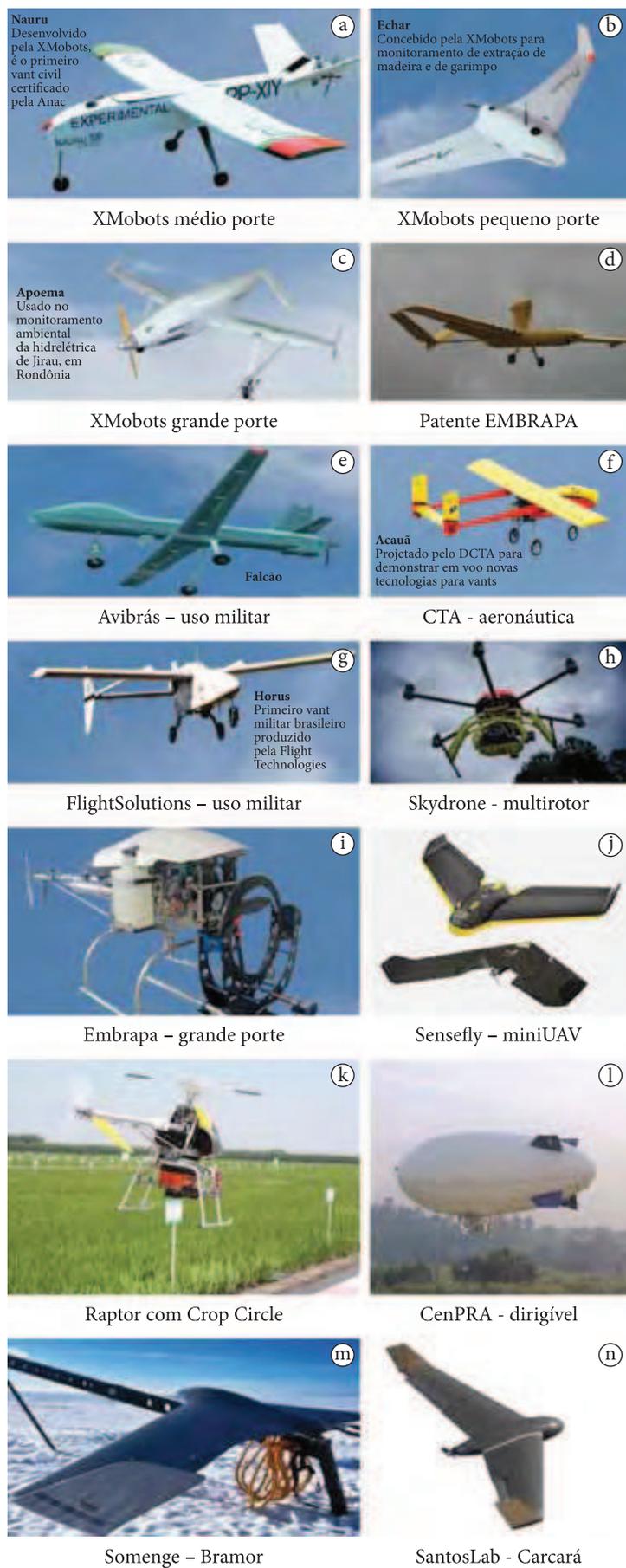
O uso de VANT em agricultura de precisão tem focado no uso de sensores baseados na espectroscopia de reflectância, ou seja, em medidas da reflexão da radiação eletromagnética (REM) após interação com diferentes superfícies

em diferentes comprimentos de onda, oriundas do chamado espectro refletido, mais especificamente abrangendo a região do visível (Visible – VIS – 0.4-0.7  $\mu\text{m}$ ), Infravermelho próximo (Near Infrared – NIR - 0.7-1.3  $\mu\text{m}$ ) e Infravermelho de ondas curtas (Short Wave Infrared – SWIR - 1.3-2.5  $\mu\text{m}$ ). Cada comprimento de onda da REM possui um comportamento particular em relação à superfície dos diferentes materiais, o qual pode ser medido quantitativamente com base na razão entre energia incidente (E - irradiância) e energia refletida (L - radiância). A medida de reflectância do comportamento espectral da cultura, do solo ou água ao longo da REM é usualmente representada por um gráfico de eixo Y/reflectância vs eixo X/comprimento de onda, denominado assinatura espectral ou curva de reflectância. O comportamento espectral é resultado direto de suas propriedades físicas e químicas, bem como da estrutura atômica dos seus átomos, expressas nos segmentos de bandas através de características da curva de reflectância, como: depressões, ombros, área, curvatura e ângulos, compondo o que chamamos de feições espectrais diagnósticas.

Como indicador de estresse, os sensores se dividem em sensores que detectam a transpiração e a redução de absorção de CO<sub>2</sub> nas plantas ou a redução na fotossíntese. No caso de estresse hídrico, a temperatura aumenta, podendo ser detectada com câmeras térmicas ou termais. No caso de estresse nutricional pode ser observada a degradação do pigmento fotossintético.

O padrão espectral da vegetação prove uma série de padrões para identificar o estágio fisiológico e de saúde das plantas. Em comprimentos de onda na região visível do espectro eletromagnético, reflectância (medida proporcional da radiação refletida por um objeto) da vegetação está relacionada com os pigmentos fotossintéticos como a clorofila a, clorofila b, xantofilas, antocianinas e carotenoides (GUYOT; GUYON; RIOM, 1989; COCHRANE, 2000; CHISHOLM, 2001).

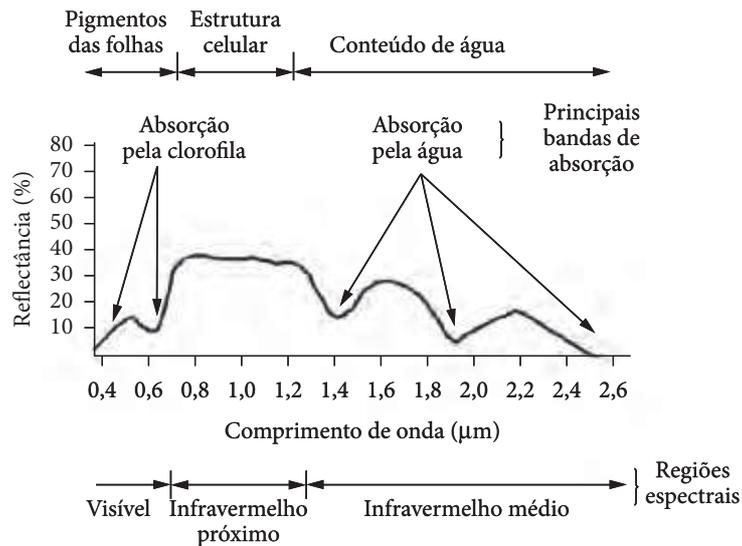
Nos comprimentos de onda na região do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, a reflectância da vegetação é influenciada pela estrutura interna das folhas, em particular, o tamanho, a forma e a distribuição de ar e água no interior da folha (CHUVIECO, 1996; KNOX, 1997; KUMAR, 1998). Nos comprimentos de onda da região do infravermelho, a reflectância da vegetação é



**Figura 5.** VANTs presentes no Brasil (Fonte: Lúcio André de Castro Jorge, adaptadas de sites dos fabricantes: XMobots, Embrapa, Sensefly, Crop Circle, Somenge, SaqntoLab, CenPRA e ANDRADE, 2013).

**Tabela 1.** Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de VANTs (Adaptado de MEDEIROS, 2007).

Tipo Aspectos	Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs)									
	Avião		Helicóptero		Multirotor		Dirigível ou balão			
	Vantagem	Desvantagem	Vantagem	Desvantagem	Vantagem	Desvantagem	Vantagem	Desvantagem		
Pouso e decolagem	Quando se usa catapulta para decolagem e paraquedas para pouso	Necessidade de área de pouso e decolagem	Em qualquer lugar pouso e decola	-	Em qualquer lugar decola e pouso	-	Em qualquer lugar decola	Necessita de área para pouso		
Trajectoria	Possui capacidade de realizar rotas longas	Depende de condições de vento para manter rota	Possui a capacidade de realizar rota determinada e pode pairar num ponto de interesse	-	Possui a capacidade de realizar rota determinada e pode pairar num ponto de interesse	-	-	Depende de condições de vento para seguir na rota		
Condições climáticas	Possui um grau de tolerância maior para voar com ventos fracos	-	Possui tolerância maior para voar inclusive com ventos fortes	-	Possui tolerância maior para voar inclusive com ventos fortes	-	-	Possui baixa tolerância em condições de ventos		
Custos	Possui custos de construção e manutenção relativamente baixos	-	-	Alto custo de aquisição e manutenção	Baixo custo de manutenção Médio custo de aquisição	-	-	Alto custo de aquisição e manutenção		
transporte	Podem ser desmontado facilitando transporte	-	Fácil transporte	-	Fácil Transporte	-	-	Difícil de transportar devido grande volume do reservatório de gás		
Carga	Suporta uma carga considerável	-	Suporta carga Média	-	-	-	Suporta pouca carga	Não suporta carga considerável		
Segurança	Permite fácil instalação de paraquedas e dispositivos de segurança	-	Possui opção de autogiro	Difícil instalação de paraquedas	-	Difícil instalação de paraquedas	-	Não suporta uma carga considerável		



**Figura 6.** Curva de reflectância de uma planta (Fonte: MOREIRA, 2001).

**Tabela 2.** Tipos de sensores embarcados e respectivas aplicações (Fonte: Lúcio André de Castro Jorge, adaptado de catálogos de sensores comerciais: Sony, FIR, Tetracam, Headwall e CropCircle).

Aplicações	Sensores
<p><b>Câmeras RGB:</b> detecção falhas de plantio, desenvolvimento da cultura, formação da planta, modelo de elevação do terreno. Olho do agricultor sobre a lavoura. (Visível – VIS - 0.4-0.7 μm)</p>	
<p><b>Câmeras Térmicas:</b>            Detecção de estresse hídrico/irrigação            (Short Wave Infrared – SWIR - 1.3-2.5 μm)</p>	
<p><b>Cameras Multiespectrais:</b>            Detecção de estresse nutricional, para determinação de índices indicadores fisiológicos, e estrutura da copa, como NDVI, EVI e outros. (Infravermelho Próximo – NIR - 0.7-1.3 μm)</p>	
<p><b>Cameras Hiperespectrais:</b> estão sendo desenvolvidos novos índices e métodos visualizando assinatura do espectro refletido e geração de índices espectrais combinados. Usadas para calibração de bandas multi a serem usadas. (NIR + SWIR)</p>	
<p><b>Sensores ativos:</b> detecção de reflectância, NDVI e outros.</p>	

determinada pela absorção de água (KAUFMAN; REMER, 1994), assim como pela presença de bioquímicos como lignina, celulose, amido, proteínas e nitrógenos (GUYOT; GUYON; RIOM, 1989; KUMAR et al., 2001). Na Figura 6 pode ser observada a reflectância de uma planta.

Em geral podemos resumir os sensores segundo suas aplicações para detecção de estresse, como pode ser visto na Tabela 2.

#### 4.1. Visível

No espectro visível (0,4 a 0,7 $\mu$ m) é possível obter imagens que auxiliam o produtor a visualizar falha de plantio, alterações no dossel, variando resoluções de centímetros a metros, dependendo da altura de voo e lente utilizada. Na Figura 7 podem ser vistos alguns exemplos de imagens obtidas com VANT em altitudes que variaram de 100m a 300m. Esta é normalmente a faixa de operação de um VANT para a área agrícola sem que haja interferência no fluxo de aeronaves convencionais tripuladas.

#### 4.4.1. Processamentos no visível

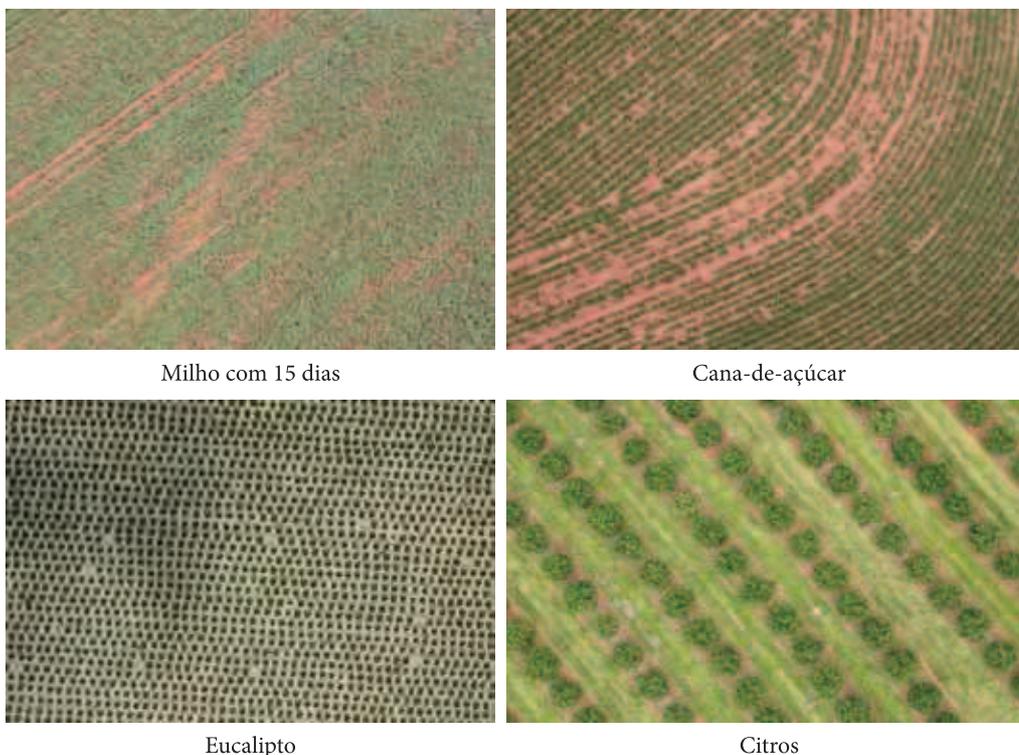
Uma vez obtidas as imagens, elas podem ser processadas individualmente com o objetivo de reconhecer falhas graves de plantio que ainda permitem por correção como, por exemplo, falhas na linha de plantio de cana-de-açúcar superiores a 50cm, conforme demonstra a imagem da Figura 8.

Alguns processamentos, como a identificação de plantas com alterações espectrais, indicando ou estágio fenológico diferente ou alteração por alguma doença ou deficiência, são realizados com as imagens no visível, como pode ser observado na Figura 9.

Muitos casos de análise das imagens de VANT, devido a resolução ser maior, invariavelmente, pode-se acompanhar o crescimento da planta no campo, permitindo assim estudos de fenotipagem. Uma exemplo de acompanhamento de germinação pode ser visto na Figura 10.

#### 4.2. Infravermelho Próximo - NIR

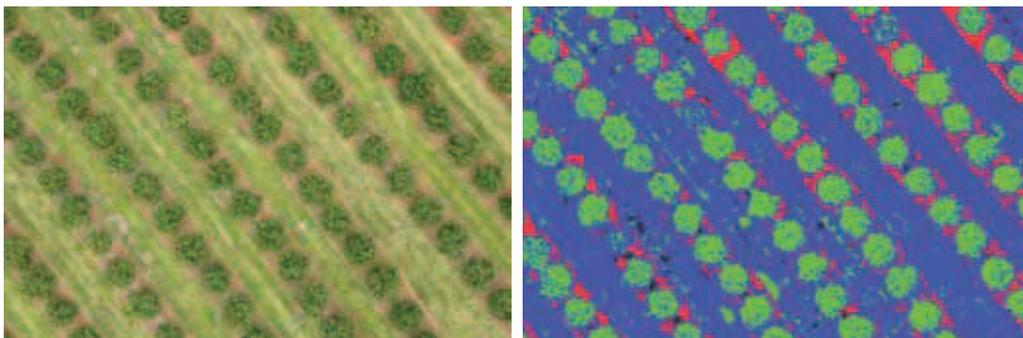
As imagens no espectro visível funcionam como o “olho do agricultor” sobre a cultura. No



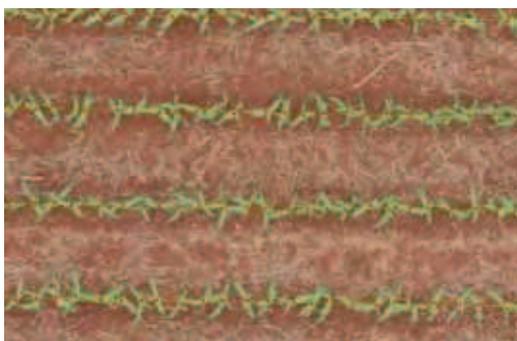
**Figura 7.** Imagens no visível típicas obtidas com VANT (Fonte: fotos obtidas por VANT por Lúcio André de Castro Jorge).



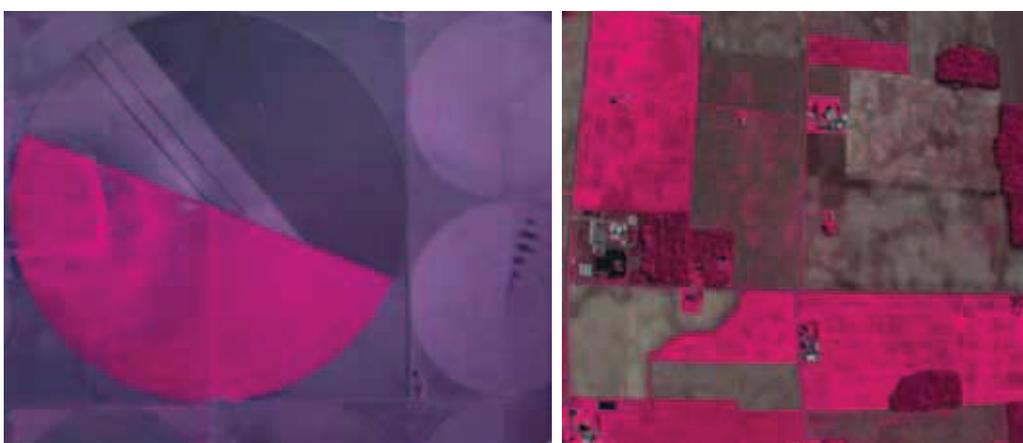
**Figura 8.** Falha de plantio em linhas de cana-de-açúcar (Fonte: fotos obtidas por VANT por Lúcio André de Castro Jorge).



**Figura 9.** Imagens de citros com identificação de plantas com alterações espectrais (Fonte: fotos obtidas por VANT por Lúcio André de Castro Jorge).



**Figura 10.** Avaliação de germinação e crescimento de híbridos de milho no campo (Fonte: fotos obtidas por VANT por Lúcio André de Castro Jorge).



Pivô Irrigado

Áreas cultivadas

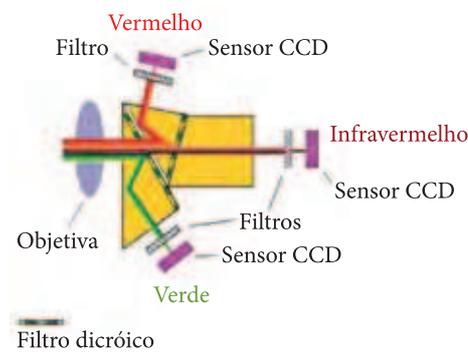
**Figura 11.** Imagens típicas de VANT com sensor NIR (Fonte: Adaptada do site [www.Tetracam.com](http://www.Tetracam.com) por Lúcio André de Castro Jorge).

entanto, algumas respostas de estresse nutricional, indicadores fisiológicos e estrutura do dossel são melhor verificados com imagens no infravermelho ou NIR. Na Figura 11 podem ser vistos um pivô irrigado e uma área cultivada na banda NIR (0,7 a 1,3 $\mu$ m).

Os sensores na faixa do Infravermelho ou NIR são usados geralmente em câmeras multiespectrais, que são câmeras alteradas trocando o filtro na região do azul, normalmente presente numa câmera no espectro visível (RGB) para a faixa do infravermelho. Assim configurando uma câmera com bandas NIR + R + G. Com estas informações é possível criar índices de vegetação próprios para avaliar o dossel, como descrito mais a frente. Na Figura 12 pode ser visto o diagrama básico de uma câmera multiespectral.

#### 4.4.1. Processamento no Espectro NIR

Uma das maiores aplicações de imagens na faixa do NIR é a determinação de índices de vegetação. Existem vários índices na literatura.



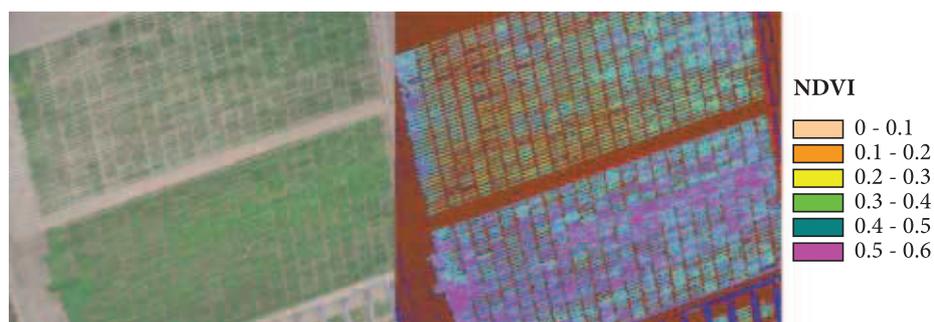
**Figura 12.** Diagrama de uma Câmera Multiespectral (Fonte: Adaptada do site catálogo câmera [www.Tetracam.com](http://www.Tetracam.com) por Lúcio André de Castro Jorge).

Um índice de vegetação é uma combinação aritmética entre duas ou mais bandas que evidencia algum componente de interesse. As imagens multiespectrais tem permitido desenvolver índices que são associados a diversas propriedades fisiológicas da vegetação (vigor, senescência, estresse hídrico). Um dos índices mais conhecidos é o NDVI, criado a partir de aritméticas com as bandas NIR e visível, ou R ou G, como pode ser observado na Figura 13. O valores são pequenos e representam estresse hídrico.

#### 4.3. Hiperespectral

No começo da década de 90 iniciaram os sensores hiperespectrais, cujas imagens demonstraram, em poucos anos, uma vasta potencialidade de aplicações, assim como numerosas vantagens sobre os sensores multiespectrais convencionais. 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.

Considerada uma área de vanguarda, o sensoriamento remoto hiperespectral ou espectroscopia de imageamento usando VANT tem como objetivo fundamental o uso dos mesmos princípios da espectroscopia de reflectância na coleta de dados para formação de imagens (hipercubo) com centenas de bandas estreitas e contíguas entre si ( $\sim 0.02 \mu\text{m}$ ) (van der Meer, 2000). Assim, cada pixel da imagem corresponde a centenas de posições ou bandas no espectro



**Figura 13.** Estresse hídrico em viticultura com o índice NDVI ((Fonte: (Fonte: Zarco-Tejada et al., 2012).

eletromagnético, sendo capaz de reproduzir a assinatura ou curva espectral do alvo e suas feições de absorção associadas. Na Figura 14 pode ser observada uma imagem típica hiperespectral. Na verdade pode ser vista como um conjunto de várias imagens, uma para cada banda espectral (hipercubo).

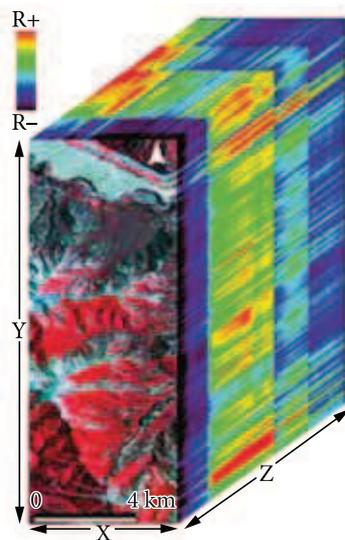
Na aplicação à vegetação, as imagens hiperespectrais possibilitam estudos detalhados dos padrões espectrais (assinaturas espectrais) das coberturas vegetais e espécies, os quais estão altamente associados a diversas propriedades fisiológicas e estruturais da planta, assim como fatores ambientais, fenológicos e antropogênicos que influenciam sobre elas (VARSHNEY; ARORA, 2004; RESEARCH SYSTEMS, 2005).

Desta forma, as aplicações de imagens hiperespectrais na vegetação tem permitido identificar a abundância de clorofila a e b (CLEVERS, 1994; GITELSON; MERZLYAK, 1997), nitrogênios (CURRAN 1989; MATSON et al., 1994; GASTELLU – ETCHEGORRY et al., 1995; FOURTY et al., 1996; JOHNSON; BILLOW, 1996; SERRANO; PENUELAS; USTIN, 2002) carbono (USTIN et al., 2001), celulose (ZAGOLSKI et al., 1996; DAUGHTRY, 2001; DAUGHTRY; HUNT JUNIOR; MCMURTREY, 2004), lignina (GASTELLU – ETCHEGORRY et al., 1995; FOURTY et al., 1996; SERRANO; PENUELAS; USTIN; ZARCO-TEJADA; ASNER, 2002), antocianina, amido (CURRAN et al., 1992;

SERRANO et al., 2000; GITELSON; MERZLYAK; CHIVKUNOVA, 2001), água (HUNT JUNIOR; ROCK, 1989; GAO, 1995; CECCATO et al., 2001; JACKSON et al., 2004 ) e sideroxinol – A (BLACKBURN, 1999; EBBERS et al., 1992). Assim também, é possível identificar a presença de outros bioquímicos que exibem comportamentos espectrais claramente identificáveis e que tem contribuído para o entendimento da fotossíntese e outros processos bioquímicos, dentro eles os pigmentos de carotenóides e xantofila (caracterizados por uma forte absorção nos comprimentos de onda azul (região visível do espectro), caroteno (caracterizados por uma forte absorção perto dos 450 nm), fitocianina (caracterizados por uma forte absorção ao redor dos 620 nm), fitoeritrina (caracterizados por forte absorção nos 550 nm) (PEÑUELAS; BARET; FILELLA, 1995; MERZLYAK et al., 1999; GITELSON et al., 2002).

Um grande número de estudos tem obtido êxito nas medidas dos elementos químicos com os sensores hiperespectrais aéreos e espaciais. Como exemplo, a concentração de nitrogênio foliar tem sido obtida usando imagens AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer), HyMap e Hyparion (JOHNSON; HLAVKA; PETERSON, 1994; MATSON et al., 1994; LA CAPRA et al., 1996; MARTIN; ABER 1997) e a lignina, entre outros bioquímicos, tem sido quantificados usando dados AVIRIS (JOHNSON; HLAVKA; PETERSON, 1994).

Entre os atributos biofísicos que podem ser obtidos usando imagens hiperespectrais se incluem medidas foliares e cobertura de vegetal (SPANNER ET AL., 1990A, B; GONG; PU; MILLER, 1995), da fração da radiação fotosinteticamente activa (GAMON; PENUELAS; FIELD, 1992; GAMON; SERRANO; SURFUS, 1997) e medições e relacionadas à arquitetura do dossel vegetal (ASNER; TOWNSEND, 1999). Outras aproximações para obter propriedades biofísicas a partir da refletância espectral incluem o emprego de modelos de radiação do dossel (USTIN; ZARCO-TEJADA; ASNER, 2001) e o uso de índices de vegetação (TREITZ; HOWARTH, 1999).



**Figura 14.** Imagem hiperespectral típica (Fonte: www.headwall.com).

#### 4.4.1. Processamento Hiperespectral

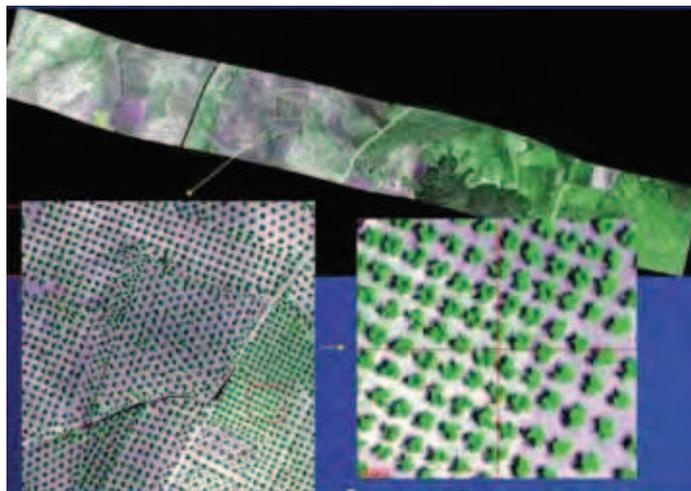
A imagem hiperespectral é um hiper cubo de dados, geralmente da ordem de GBytes, que possui resolução suficiente para avaliar espectralmente os alvos com bastante

precisão. No entanto, por se tratar de um dado multidimensional volumoso, é necessário aplicar algoritmos automáticos de detecção de padrões. As imagens hiperespectrais tem permitido desenvolver perto de 150 índices que são associados a diversas propriedades fisiológicas da vegetação (vigor, senescência, estresse hídrico), a maioria impossível de obter mediante imagens multiespectrais, devido ao pequeno número de bandas. Também, tem permitido a identificação de tipos específicos de coberturas e espécies vegetais, bem como pragas e doenças e áreas suscetíveis de incêndios, o que não é conseguido com o processamento de imagens multiespectrais, pois sua baixa resolução

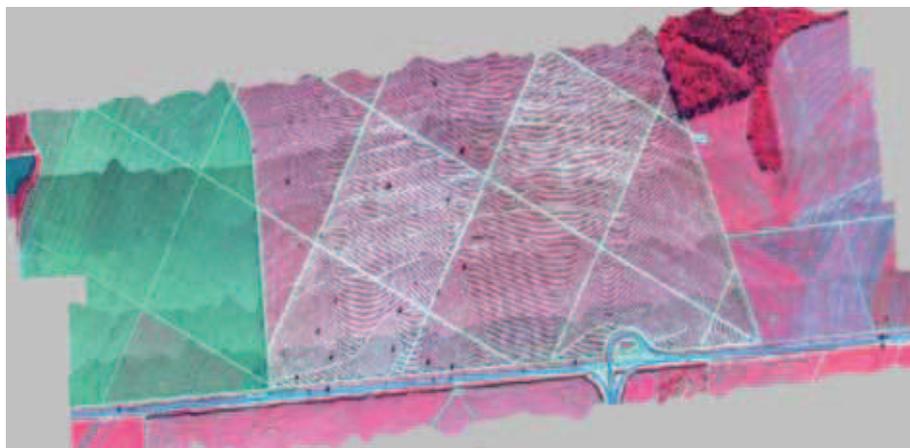
espectral impede a análise e discriminação de comprimentos de onda específicos.

Além dos índices que podem ser gerados com as imagens hiperespectrais, por apresentar um espectro completo para cada pixel da imagem, estão sendo aplicados algoritmos de mineração de dados para buscar as características e assinaturas padrões sem usar aritmética com as bandas. Este tipo de processamento é o destaque nos últimos anos e ainda não estão disponíveis para usuários comuns.

Existe um problema com o uso de sensores hiperespectrais em VANTs. Por se tratar de um sensor extremamente preciso, os problemas de estabilidade e precisão de posicionamento do VANT pode ser um limitante. Em geral



**Figura 15.** Detalhes de uma imagem hiper (Fonte: ZARCO-TEJADA; GONZÁLEZ-DUGO; BERNI, 2012)



**Figura 16.** Imagem hiperespectral de uma fazenda de citros (Fonte: Obtida por Lúcio André de Castro Jorge)

os modelos planadores são mais estáveis e apresentam melhores condições para uso destes sensores. O processamento fica extremamente prejudicado caso a imagem apresente artefatos provenientes de movimentos inadequados dos VANTs.

Nas Figuras 15 e 16 podem ser observadas imagens típicas obtidas com sensor hiperespectral. O processamento é realizado com os espectros e a visualização é feita através de pseudocores uma vez que apresentam uma grande número de bandas.

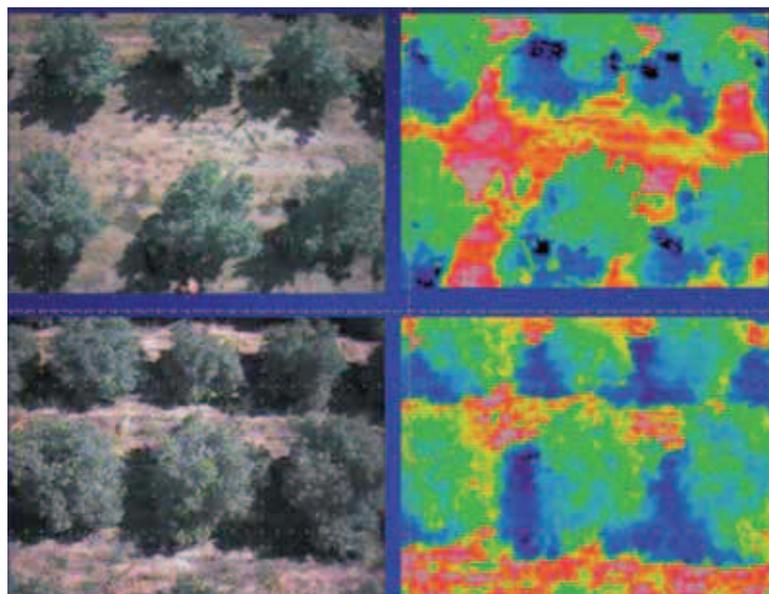
#### 4.4. Termal ou Térmico

Na Figura 17 pode ser observada uma imagem no visível e a respectiva imagem na faixa termal. Em geral é possível mapear com pseudocores as temperaturas do dossel. Este tipo de sensor é utilizado para avaliar estresse hídrico e em conjunto com imagens hiperespectrais serve para determinar a fluorescência direta no campo. Com isto é possível mapear estresses hídricos e provocados por doenças e deficiências.

Não é realizado processamento na imagem térmica a não ser o mapeamento de pseudocor relativo às faixas de temperaturas.

#### 4.5. Fluorescência

Uma planta, quando irradiada com luz ultravioleta (350 nm) ou mesmo outros comprimentos de onda, possuem a propriedade de emitir uma luz denominada de fluorescência. Este processo só é percebido se for realizada a inibição da fotossíntese, deixando por alguns segundos, a planta no escuro. Por este motivo é difícil obter a fluorescência diretamente no campo por sensores aéreos. No entanto, usando combinação de sensores esta é possível de ser determinada. Os efeitos de fluorescência ocorrem em tempos muito curtos e dependem das circunstâncias. A fluorescência da clorofila em hortaliças se tornou um parâmetro importante de análise em virtude de que qualquer variação na planta decorrente de doenças, pragas ou qualquer adversidade provoca alterações em seu teor. As moléculas de clorofila absorvem a energia luminosa (fótons) e alteram temporariamente as suas configurações eletrônicas. Esses pigmentos passam do estado fundamental singleto para um estado excitado singleto com tempo de vida característico da ordem de  $\approx 10^{-8}$ s. Após esse período, esta energia pode ser dissipada através de três processos:



**Figura 17.** Detalhes de uma imagem térmica (Fonte: ZARCO-TEJADA; GONZÁLEZ-DUGO; BERNI, 2012; GONZALEZ-DUGO et al., 2013)

- Dissipação fotoquímica: onde a energia luminosa é utilizada para os processos fotoquímicos da fotossíntese;
- Fluorescência: onde ocorre a emissão de radiação na região do visível;
- Dissipação não fotoquímica: onde ocorre a produção de calor na forma de radiação infravermelha.

A fluorescência da clorofila se tornou um parâmetro importante de análise em virtude de que qualquer variação na planta decorrente de doenças, pragas ou qualquer adversidade provoca alterações em seu teor.

Além das clorofilas, as plantas superiores possuem uma série de compostos orgânicos que apresentam a propriedade de fluorescer quando excitados com luz ultravioleta ou visível, por exemplo, carotenoides e xantofilas. Dessa forma, a emissão de fluorescência é um espectro rico em informações de vários compostos químicos. Por ser uma técnica altamente sensível e rápida, ela é uma ferramenta interessante no estudo de processos químicos, físicos e orgânicos que ocorram nas plantas.

Um exemplo típico que pode ser obtida a fluorescência diretamente no campo foi apresentado por Zarco-Tejada, González-Dugo e Berni (2012) e González-Duco et al. (2013). Na Figura 18 pode ser visto a diferenciação de fluorescência diretamente no campo.

## 5. Etapas para utilizar o VANT em agricultura de precisão

Na Figura 19 podem ser vistas as etapas básicas de utilização de VANT em agricultura de precisão.

Estas etapas de utilização de um VANT em agricultura de precisão se resumem em:

- Planejamento de voo;
- Voo com sobreposição;
- Obtenção das imagens georreferenciadas;
- Processamento das imagens;
- Geração de Mosaico;
- Análise em uma ferramenta GIS;
- Geração de relatórios.

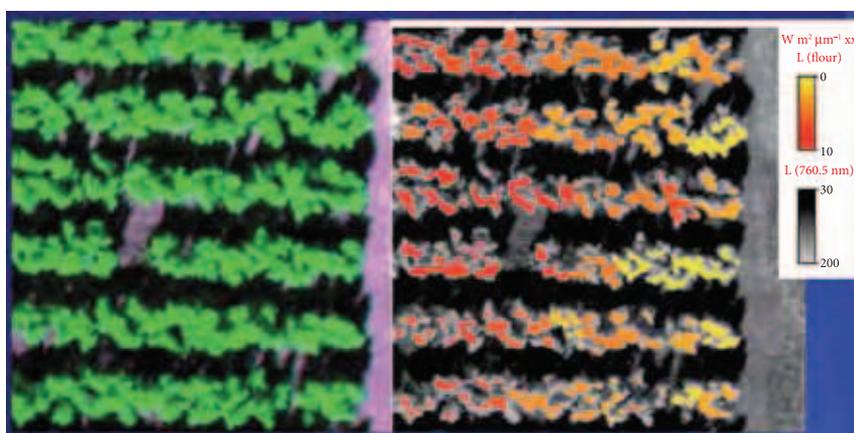
### 5.1. Planejamento de Voo:

O planejamento de voo inicia com a seleção das condições do voo, ou seja, a altitude, velocidade de voo, resolução das imagens e resolução do pixel nas unidades de terreno, e, finalmente as normas e regulamentos de voo.

Para definir a altitude deve ser observado se o voo terá visada direta, ou seja, sem obstáculos entre a estação de controle e a aeronave.

Também deve ser observada qual a resolução em solo é desejada e, então, de acordo com a resolução da câmera deve ser calculada a altitude de voo. Na tabela 3 pode ser observado um exemplo de resoluções e altitude para uma câmera de 10Mpixel.

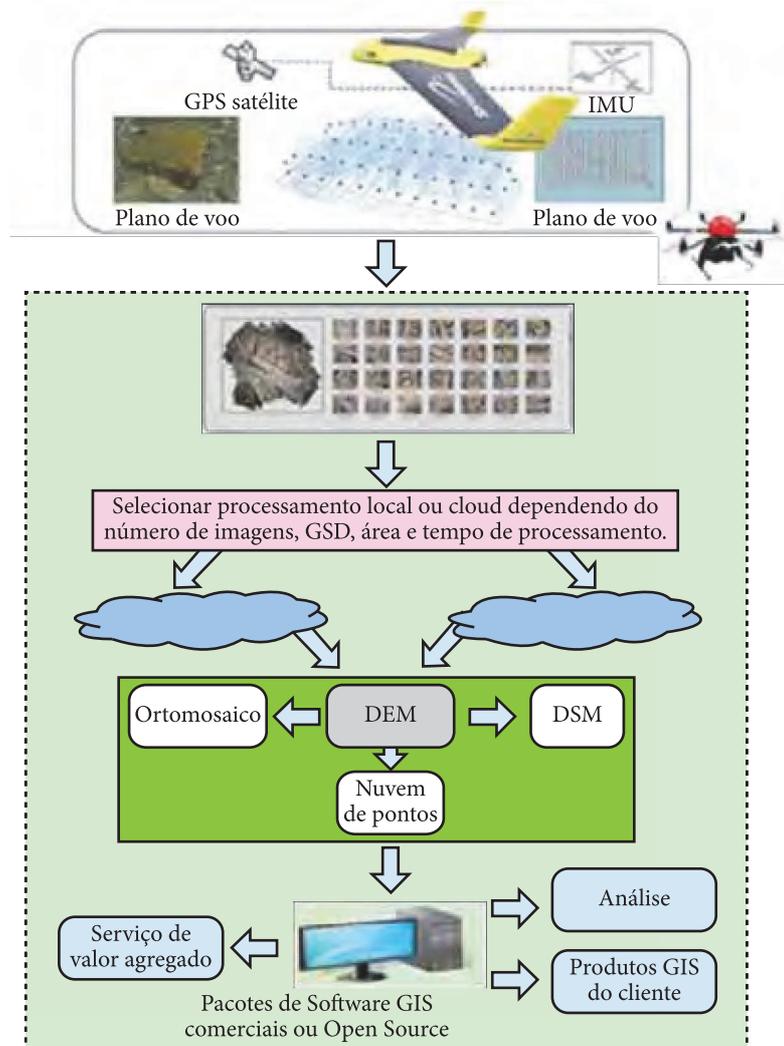
Deve haver cuidado com as características da câmera de tal forma a evitar borramentos.



**Figura 18.** Imagem de Fluorescencia obtido com VANT diretamente no campo (Fonte: ZARCO-TEJADA; GONZÁLEZ-DUGO; BERNI, 2012)

Assim, a melhor estratégia é manter o tempo de exposição constante, fixar o balanço de branco e usar o formato RAW, caso exista na câmera, permitindo abertura da lente automática e foco no infinito.

O ajustes devem ser realizados antes da decolagem. O tempo de armazenamento da imagem também é maior no formato RAW, podendo afetar a taxa de sobreposição ao longo do deslocamento da aeronave.



**Figura19.** Etapas de uso do VANT em agricultura de precisão (Fonte: <http://www.skydrones.com.br> Acesso dezembro, 2013).

**Tabela 3.** Exemplo de resoluções para uma imagem de 10Mpixel

Altitude (m)	Resolução (cm/pixel)	Cobertura no solo (m)
100	3.5	129
122	4.3	157
140	5	180
200	7.1	257
280	10	360
420	15	540
560	20	720

Devido o movimento das aeronaves, os ajustes de velocidade de obturador da câmera devem ser controlados para evitar o borramento. Este vai depender da distância e da altitude programada. Uma condição razoável para se obter um borramento imperceptível é assegurar que a distância percorrida durante a tomada da foto não seja maior que metade da resolução do pixel. O pior caso ocorre quando o deslocamento é na direção do vento, incrementando a velocidade de voo.

Dada a resolução em solo que se deseja, deve-se selecionar a máxima exposição possível (1/800, 1/1000, 1/1250, 1/4000, 1/6000). Câmera com mais megapixels tendem a borrar devido o tamanho do pixel. Isto significa que selecionando lentes escuras, com muitos megapixels e altitudes de voo altas não é uma boa prática em dias nublados.

Depois de definidas as condições de voo, deve-se utilizar estes parâmetros nos planejadores de missões de cada VANT para traçar o plano de voo. Na Figura 20 pode ser visto um traçado de voo utilizando um planejador de missão gratuito disponível com a solução do ArduPilot.

### 5.2. Voo com sobreposição:

A altitude de voo é determinante na quantidade de imagens geradas e no tamanho do pixel sobre o terreno. O fundamental é que se voe o mais alto, mais área é coberta com menos fotos. No

entanto, existe um compromisso com a resolução que se deseja obter.

Pode-se calcular a área coberta no voo usando a seguinte expressão:

$$\text{Superfície Coberta (Km}^2\text{)} = T \cdot V \cdot W$$

sendo:

T (h) = tempo de voo;

V (Km/h) = velocidade sobre o solo;

W (km) = largura da foto no solo.

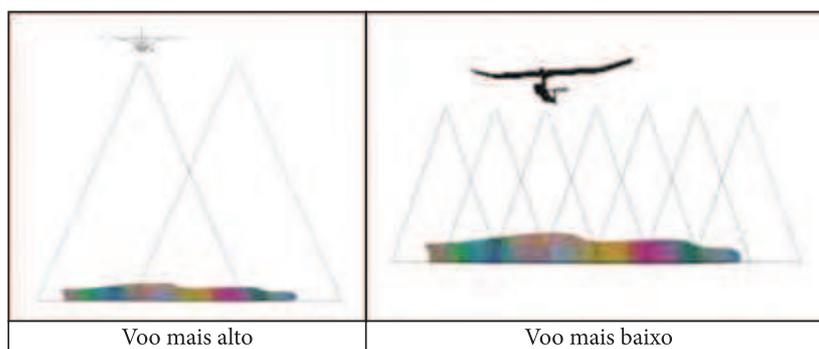
Na Figura 21 é possível observar a cobertura com voos a diferentes altitudes.

A melhor forma de decolagem para usos na área agrícola é a decolagem manual conforme demonstrado na Figura 22. Assim, não é necessário nenhum outro acessório auxiliar para decolagem e não se corre riscos de perdas com trens de pouso em estradas de terra pequenas e não planas. Exceto em casos de multirotores ou helicópteros que a decolagem e pouso é mais simples.

Considerando também a experiência e obtenção de imagens com qualidade para agricultura de precisão, a sobreposição mínima lateral recomendada é de 40%. Esta é suficiente em caso que se necessite menos precisão nos mosaicos. No entanto, o recomendado é 60% também para a sobreposição lateral. Assim, se obtém mais qualidade em terrenos com variações de inclinação.



**Figura 20.** Planejamento de Voo no software de planejamento do ARDUPILOT. (Fonte: Tela capturada por Lúcio André de Castro Jorge durante operação de drone)



**Figura 21.** Coberturas sobre o solo a diferentes altitudes (Fonte: Adaptado de <http://www.aerialrobotics.eu/pteryx/pteryx-mapping-secrets.pdf>).



**Figura 22.** Forma de decolagem mais simples para um VANT agrícola. Fonte: <http://blog.cimmyt.org/sky-walker-advances-phenotyping-in-southern-africa/>. Acesso dezembro 2013).

### 5.3. Obtenção de Imagens

#### Georreferenciadas:

Se a sobreposição linear em uma direção é dada por N%, a distância média entre um ponto na imagem nesta direção é de (100-N)%. De fato, para largura ou comprimento da foto tem-se  $1/(100-N)\%$  pontos comuns por unidade de distância.

Se a sobreposição é uniforme, em 2D, tem-se  $(1/(100-N)\%)^2$  pontos comuns por unidade de área.

Considerando N para sobreposição lateral e M para sobreposição da direção de voo, a densidade média de fotos em um dado ponto no mosaico pode ser calculada por  $1/(100-N)\% \cdot (100-M)\%$ .

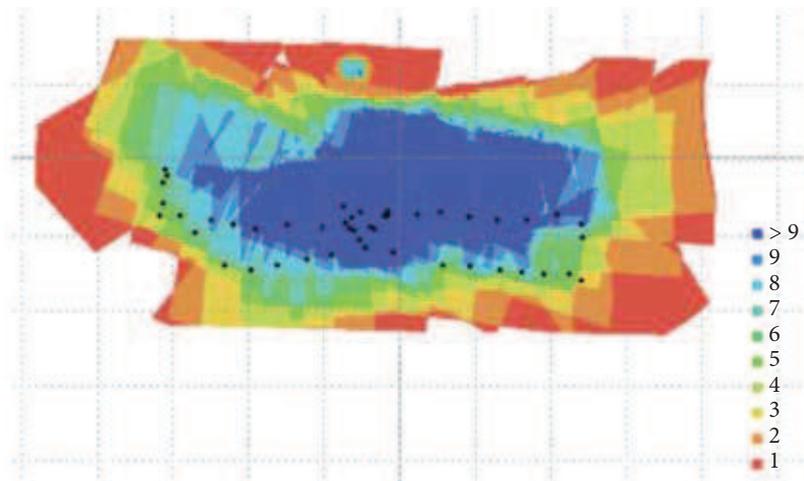
A densidade deve ser observada de tal forma a se obter a quantidade necessária para a determinação do modelo de elevação do terreno ideal.

Em geral, as câmeras usam o formato EXIF JPG com mínima compressão para evitar perdas de qualidade. A obtenção da foto com sobreposições típicas de 60% devem ser garantidas pela velocidade de voo e altitude desejada. Na imagem da Figura 23 pode ser visto o mosaico obtido com as posições da aeronave no instante do disparo. E na Figura 24 pode ser visto o número de fotos e sobreposições obtidas.

As coordenadas LAT, LONG e ALT, ou seja, latitude, longitude e altitude devem ser armazenadas diretamente com cabeçalho das fotos, em formatos padrões EXIF JPG ou GeoTIFF. Caso não se tenha como gerar automaticamente as imagens com coordenadas, deve-se utilizar softwares que juntam o log de voo com as coordenadas com as imagens obtidas. Esta



**Figura 23.** Posições da aeronave a cada disparo da câmera numa área de citros (Fonte: Lúcio André de Castro Jorge).



**Figura 24.** Densidade de fotos e sobreposições para geração do mosaico. A parte central apresenta maior sobreposição e melhor qualidade de mosaico final (Fonte: Lúcio André de Castro Jorge).

junção é necessária para a próxima etapa que é a geração de mosaicos. Em geral, ferramentas de geração de mosaicos, podem juntar as imagens independentemente das coordenadas, mas isto resulta num mapa não georreferenciado, o que não é interessante quando se quer fazer análise junto com dados de elevação do terreno.

#### 5.4. Processamento das Imagens:

O processamento pode ser realizado foto a foto, conforme já descrito, para posterior geração do mosaico, mas em geral é realizado no mosaico já pronto.

#### 5.5. Geração de Mosaicos:

Um mosaico de imagens consiste em unir grande quantidade de imagens em uma nova imagem (CHON; KIM; LIN, 2010). Dentre as várias aplicações com mosaicos de imagens, destacam-se os mosaicos que são construídos a partir de imagens de satélite (HELMER; RUEFENACHT, 2005; BIELSKI; GRAZZINI; SOILLE, 2007; KERSCHNER, 2001; SOILLE, 2006) e aqueles que usam imagens aéreas (WANG et al., 2008; DU et al., 2008; LALIBERTE et al., 2010; CHON; KIM; LIN, 2010; PAN et al., 2009; LÓPEZ et al., 2011).

Na obtenção de imagens aéreas é possível ao usuário a escolha da resolução mais adequada ao terreno, e da geometria de visualização/iluminação, por meio do ajuste da altura e direção do voo em relação ao sol, minimizando o tempo para medições de áreas (BARNESLEY et al., 1997).

Os mosaicos aéreos agrícolas permitem direcionar vistorias de campo durante o ciclo do cultivo ou em datas posteriores à colheita, fornecendo um diagnóstico preciso da área de cultivo (LEBOEUF, 2000). A partir daí, podem ser elaborados os mapas de recomendações: descompactação, fertilidade e aplicação de insumos em taxa variável, auxiliando nas tomadas de decisões. A eficiência da tomada de decisão está ligada à obtenção mais rápida e precisa de informações e também auxilia no controle de pragas, doenças e queimadas (WULDER et al., 2004; LELONG et al., 2008). A necessidade de precisão das informações justifica o uso de imagens de alta resolução, e a necessidade da obtenção rápida das informações justifica o uso de processamento paralelo para reduzir o custo computacional ocasionado pela construção de mosaicos de alta resolução.

As imagens aéreas, durante o seu processo de aquisição, frequentemente apresentam distorções que são causadas por alterações espaciais (translação, escala e rotação) e também

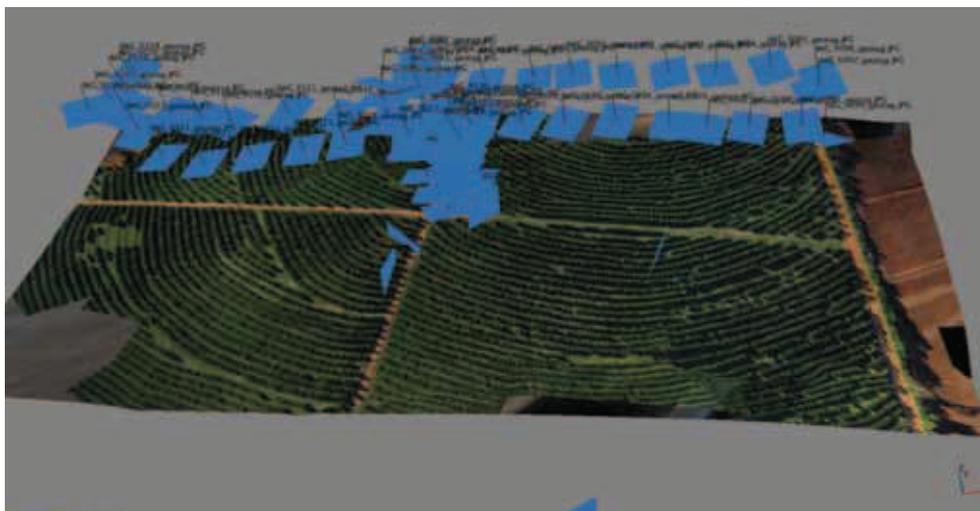
por alterações radiométricas (brilho e cor), devido a variações de altitude e orientação do avião; consequentemente há necessidade das imagens serem retificadas (ROY; MEUNIER; COX, 1997) antes do início do processo de construção de mosaicos.

As imagens retificadas são então utilizadas para a construção do mosaico, que une essas imagens, gerando uma nova imagem. Durante o processo de união das imagens, elas precisam passar por alguns ajustes geométricos, para que possam se encaixar adequadamente. No entanto, esses ajustes ocasionam uma distorção, que é acumulada ao longo do processo, necessitando de uma correção, que no trabalho de Brown e Lowe (2007) é realizada no final do processo.

Os trabalhos de DiVerdi et al. (2009), Liang et al. (2009), Kaynig et al. (2010), Liu et al. (2011), Zhong et al. (2012) e Gui et al. (2012) mostram exemplos de construção de mosaicos de imagens utilizando algoritmos que trabalham com metodologias de descritores de características nas próprias imagens.

Uma vez obtidas as fotos gerefenciadas, estas possuem em seu cabeçalho as coordenadas de posicionamento global, GPS, que são utilizadas para geração do mosaico.

Existem softwares comerciais que já realizam o mosaicamento automático, como por exemplo



**Figura 25.** Mosaicamento de imagens do VANT com o software PhotScan (Fonte: Lúcio André de Castro Jorge).

o Pixel4D e o PhotoScan. Em ambos, é necessário que cada foto seja georreferenciada. Existem poucos passos a serem executados e por este motivo tem sido mais usados nos VANTs.

Na Figura 25 pode ser observado um mosaico feito numa área de citros, com as respectivas posições das fotos durante a aquisição. Este mosaico foi obtido com baixa resolução apenas para demonstrar o uso do software PhotoScan.

#### 5.6. Análise em uma ferramenta GIS;

Uma vez obtidas as imagens ou mosaicos, estes podem ser utilizados nos sistemas de informação geográfica (SIG) para fazer correlações com outros mapas obtidos.

O uso do VANT torna mais fácil alimentar os SIGs com mais frequência, podendo ter uma resolução temporal muito interessante para as etapas da agricultura de precisão.

São várias as análises e dependem dos objetivos. De uma forma geral, é bastante usada para definição de zonas de manejo da propriedade.

#### 5.7. Geração de relatórios.

A geração de relatórios podem ser realizadas de forma customizada em cada caso. Em geral, sistemas integrados com GIS já definem mapas de aplicações em taxa variada baseados nos diferentes mapas e cruzamentos realizados no GIS.

## 6. Conclusões

O uso de VANTs em agricultura de precisão tem sido cada vez maior, uma vez que a tecnologia está se tornando mais acessível, com preços acessíveis, com maior confiabilidade e com sensores cada vez mais precisos.

Todo o sensoriamento remoto que se faz com satélites e aviões tripulados estão disponíveis nos VANTs. Os sistemas estão cada vez mais fáceis de operar e tornando-se viáveis para uso no campo.

Apesar disso, neste momento a ANAC, responsável pela autorização de uso deste tipo de aeronaves, tem mantido grupos discutindo regulamentações de tipos e formas de uso de VANT que em breve devem se tornar disponíveis e padronizar o uso. É necessário que seja homologado o VANT pela ANAC e que sejam obtidas as autorizações de voo junto a ANAC e

ANATEL para que esteja em plena concordância com as regras vigentes. Além disso, a cada operação deve ser feita a notificação de voo.

Ainda existem muitos relatos de quedas de VANTs por diferentes motivos, sendo os principais a falta de manutenção, seguir procedimentos de operação e falhas de operação por parte do operador. A falha do sistema, em geral, não tem sido causa de quedas, uma vez que existem dispositivos de segurança como paraquedas, pousos préprogramados etc. O grande problema tem sido a manutenção inadequada e condições de operação. E no campo, estas condições são mais críticas ainda, considerando a robustez do campo.

Assim, deve-se lembrar sempre que o VANT ainda não há domínio como uma operação com um trator. Exige procedimentos e cuidados. Mas deve certamente figurar nos próximos tempos como uma das ferramentas mais úteis na agricultura de precisão.

## Referências

- ALBERS, B. J.; NYQUIST, J. E.; PURDY, C. B. The department of energy's use of airborne remotely piloted vehicles for environmental management. In: ANNUAL ASSOCIATION FOR UNMANNED VEHICLE SYSTEMS INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND EXHIBITION, 23., 1996, Orlando. **Proceedings...** p. 839-848.
- ANDRADE, R. O. O voo do Falcão. **Pesquisa FAPESP**, n. 11, 2013.
- ASNER, G. P.; TOWNSEND, A. R.; BUSTAMANTE, M. M. C. Spectrometry of pasture condition and biogeochemistry in the Central Amazon. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 17, p. 2769-2772, 1999. <http://dx.doi.org/10.1029/1999GL900546>
- BARNESLEY, M.; BOXALL, S. R.; MATTHEWS, A. M.; WHITE, S. J. Editorial to special issue. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, p. 1861-1863, 1997.
- BIELSKI, C.; GRAZZINI, J.; SOILLE, P. Automated morphological image composition for mosaicing large image data sets. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING - IGARSS, 2007, Barcelona. **Proceedings...** New York: IEEE, 2007. p. 4068-4071. <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2007.4423743>
- BLACKBURN, G. A. Relationships between spectral reflectance and pigment concentrations in stacks of deciduous broadleaves. **Remote Sensing of Environment**, v. 70, n. 2, p. 224-237, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00048-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00048-6)

- BROWN, M.; LOWE, D. G. Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features. **International Journal of Computer Vision**, v. 74, n. 1, p. 59-73, 2007.
- CECCATO, P. S.; FLASSE, S.; TARANTOLA, S.; JACQUEMOUD, S.; GREGOIRE, J. M. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, n. 1, p. 22-33, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00191-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00191-2)
- CHISHOLM, L. A. **Characterisation and evaluation of moisture stress in E. camalduenis using hyperspectral remote sensing**. Sydney: University of New South Wales, 2001. 15 p.
- CHON, J.; KIM, H.; LIN, C. S. Seam-line determination for image mosaicking: a technique minimizing the maximum local mismatch and the global cost. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 65, n. 1, p. 86-92, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.09.001>
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Rialp, 1996. 568 p.
- CLEVERS, J. P. G. W. Imaging spectrometry in agriculture-plant vitality and yield indicators. In: HILL, J. A. M. (Ed.). **Imaging spectrometry-a tool for environmental observations**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994. p. 193-219. (Eurocourses: Remote Sensing, 4). [http://dx.doi.org/10.1007/978-0-585-33173-7\\_11](http://dx.doi.org/10.1007/978-0-585-33173-7_11)
- COCHRANE, M. A. Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 10, p. 2075-2087, 2000. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160050021303>
- CURRAN, P. J. Imaging spectrometry. **Progress in Physical Geography**, v. 18, n. 2, p. 247-266, 1994. <http://dx.doi.org/10.1177/030913339401800204>
- CURRAN, P. J.; DUNGAN, J. L.; MACLER, B. A.; PLUMMER, S. E.; PETERSON, D. L. Reflectance spectroscopy of fresh whole leaves for the estimation of chemical concentration. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n. 2, p. 153-166, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90133-5](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(92)90133-5)
- DAUGHTRY, C. S. T. Discriminating crop residues from soil by short-wave infrared reflectance. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 125-131, 2001. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2001.931125x>
- DAUGHTRY, C. S. T.; HUNT JUNIOR, E. R.; MCMURTREY, J. E. Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 1, p. 126-134, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.023>
- DE GARMO, M. T. **Issues concerning integration of unmanned aerial vehicles in civil airspace**. McLean: Center for Advanced Aviation System Development-Mitre, 2004. PMID:14749161.
- DIVERDI, S.; WITHER, J.; HÖLLERER, T. All around the map: online spherical panorama construction. **Computers & Graphics**, v. 33, n. 1, p. 73-84, 2009.
- DU, Q.; RAKSUNTORN, N.; ORDUYILMAZ, A.; BRUCE, L. M. Automatic registration and mosaicking for airborne multispectral image sequences. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 74, n. 2, p. 169-181, 2008. <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.74.2.169>
- EBBERS, M. J. H.; WALLIS, I. R.; DURY, S.; FLOYD, R.; FOLEY, W. J. Spectrometric prediction of secondary metabolites and nitrogen in fresh Eucalyptus foliage: towards remote sensing of the nutritional quality of foliage for leaf-eating marsupials. **Australian Journal of Botany**, v. 50, n. 6, p. 761-768, 2002. <http://dx.doi.org/10.1071/BT02025>
- EISENBEISS, H. A mini unmanned aerial vehicle (UAV, p. system overview and image acquisition. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON "PROCESSING AND VISUALIZATION USING HIGH-RESOLUTION IMAGERY", 2004, Pitsanulok. **Proceedings...** p. 1-7.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária. Lúcio André de Castro Jorge. *Configuração aplicada em aeromodelo*. BR n. DI6400311-6, 29 jan. 2004.
- FOURTY, T. F.; BARET, S.; JACQUEMOUD, G.; SCHMUCK, G.; VERDEBOUT, J. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. **Remote Sensing of Environment**, v. 56, n. 2, p. 104-117, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00234-0](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(95)00234-0)
- GAMON, J. A.; PENUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, n. 1, p. 35-44, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90059-S](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(92)90059-S)
- GAMON, J. A.; SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types and nutrient levels. **Oecologia**, v. 112, n. 4, p. 492-501, 1997. <http://dx.doi.org/10.1007/s004420050337>
- GAO, B. C. Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Proceedings of SPIE**, v. 2480, p. 225-236, 1995. <http://dx.doi.org/10.1117/12.210877>
- GASTELLU-ETCHEGORRY, J. P.; ZAGOLSKI, F.; MOUGIN, E.; MARTY, G.; GIORDANO, G. An assessment of canopy chemistry with AVIRIS-a case-study in the Landes forest, south-west France. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, n. 3, p. 487-501, 1995. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169508954414>
- GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 12, p. 2691-2697, 1997. <http://dx.doi.org/10.1080/014311697217558>
- GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. **Photochemistry and Photobiology**, v. 71, n. 1, p. 38-45, 2001. [http://dx.doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)074%3C0038:OPANEO%3E2.O.CO;2](http://dx.doi.org/10.1562/0031-8655(2001)074%3C0038:OPANEO%3E2.O.CO;2)

- GITELSON, A. A.; ZUR, Y.; CHIVKUNOVA, O. B.; MERZLYAK, M. N. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. **Photochemistry and Photobiology**, v. 75, p. 272-281, 2002. [http://dx.doi.org/10.1562/0031-8655\(2002\)075%3C0272:ACCIPL%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1562/0031-8655(2002)075%3C0272:ACCIPL%3E2.0.CO;2)
- GONG, P.; PU, R. L.; MILLER, J. R. Coniferous forest Leaf-Area Index estimation along the Oregon transect using Compact Airborne Spectrographic Imager data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 9, p. 1107-1117, 1995.
- GONZÁLEZ-DUGO, V.; ZARCO-TEJADA, P. J.; NICOLÁS, E.; NORTES, P. A.; ALARCÓN, J. J.; INTRIGLIOLO, D. S.; FERERES, E. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 6, p. 660-678, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-013-9322-9>
- GUI, Y.; SU, A.; DU, J. Point-pattern matching method using SURF and Shape Context. **Optik**, v. 124, n. 14, p. 1869-1873, 2013.
- GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review. **Geocarto International**, v. 4, n. 3, p. 3-18, 1989. <http://dx.doi.org/10.1080/10106048909354217>
- HELMER, E. H.; RUEFENACHT, B. Cloud-free satellite image mosaics with regression trees and histogram matching. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 71, n. 9, p. 1079-1089, 2005. <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.71.9.1079>
- HERWITZ, S. R.; JOHNSON, L. F.; DUNAGAN, S. E.; HIGGINS, R. G.; SULLIVAN, D. V.; ZHENG, J.; LOBITZ, B. M.; LEUNG, J. G.; GALLMEYER, B. A.; AOYAGI, M.; SLYE, R. E.; BRASS, J. A. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 44, n. 1, p. 49-61, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.02.006>
- HUNT JUNIOR, E. R.; ROCK, B. N. Detection of changes in leaf water content using near - and middle -infrared reflectances. **Remote Sensing of Environment**, v. 30, n. 1, p. 43-54, 1989. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1)
- JACKSON, T. L.; CHEN, D.; COSH, M.; LI, F.; ANDERSON, M.; WALTHALL, C.; DORIASWAMY, P.; HUNT, E. R. Vegetation water content mapping using landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, n. 4, p. 475-482, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.021>
- JOHNSON, L. F.; BILLOW, C. R. Spectrometric estimation of total nitrogen concentration in Douglas-fir foliage. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 3, p. 489-500, 1996. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608949022>
- JOHNSON, L. F.; BOSCH, D. F.; WILLIAMS, D. C.; LOBITZ, B. M. Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 557-560, 2001. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.6454>
- JOHNSON, L. F.; HLAVKA, C. A.; PETERSON, D. L. Multivariate analysis of AVIRIS data for canopy biochemical estimation along the Oregon transect. **Remote Sensing of Environment**, v. 47, n. 2, p. 216-230, 1994. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90157-0](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)90157-0)
- JORGE, L. A. C. **Determinação da cobertura de solo em fotografias aéreas do Projeto Arara**. 2001. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- JORGE, L. A. C. **Metodologia para utilização de aeromodelos em monitoramento aéreo: análise de imagens**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2003. (Circular Técnica).
- JORGE, L. A. C.; SOUZA, N. P.; TRINDADE JUNIOR, O.; TOZZI, C. L.; TORRE NETO, A. Studies of soil conservation for precision farming by digital color image analysis. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1999, Toronto. **Proceedings...**
- JORGE, L. A. C.; TRINDADE JUNIOR, O.; DAINESE, R. C.; CEREDA JUNIOR, A. Aeromodelo para sensoriamento remoto em agricultura de precisão. In: GIS BRASIL, 2004, São Paulo. **Anais...**
- KAUFMAN, Y. J.; REMER, L. A. Detection of forests using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 32, p. 672-683, 1994. <http://dx.doi.org/10.1109/36.297984>
- KAYNIG, V.; FISCHER, B.; MULLER, E.; BUHMANN, J. M. Fully automatic stitching and distortion correction of transmission electron microscope images. **Journal of Structural Biology**, v. 171, p. 163-173, 2010.
- KERSCHNER, M. Seamline detection in colour orthoimage mosaicking by use of twin snakes. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 56, n. 1, p. 53-64, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716\(01\)00033-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716(01)00033-8)
- KNOX, B.; LADIGES, P.; EVANS, B. **Biology**. Sydney: Mc Graw-Hill, 1997. 225 p.
- KUMAR, L. **Modeling forest resources using geographical information systems and hyperspectral remote sensing**. 1998. 246 f. Tese (Doutorado)-University of New South Wales, Sydney, 1998.
- KUMAR, L.; SCHMIDT, K.; DURY, S.; SKIDMORE, A. Imaging spectrometry and vegetation science. In: VAN DER MEER, F. D.; JONG, S. M. **Imaging spectrometry: basic principles and prospective applications**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 11-155.
- LA CRAPA, V. C.; MELACK, J. M.; GASTIL, M.; VALERIANO, D. Remote sensing of foliar chemistry of inundated rice with imaging spectrometry. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, n. 1, p. 50-58, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00185-9](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(95)00185-9)

- LALIBERTE, A. S.; HERRICK, J. E.; RANGO, A.; WINTERS, C. Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 76, n. 6, p. 661-672, 2010. <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.76.6.661>
- LEBOEUF, J. Practical applications of remote sensing technology: an industry perspective. **HortTechnology**, v. 10, n. 3, p. 475-480, 2000.
- LELONG, C. C. D.; BURGER, P.; JUBELIN, G.; ROUX, B.; LABBÉ, S.; BARET, F. Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. **Sensors**, v. 8, p. 3557-3585, 2008. <http://dx.doi.org/10.3390/s8053557>
- LIANG, J.; DEMENTHON, D.; DOERMANN, D. Mosaicing of camera-captured document images. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 113, p. 572-579, 2009.
- LIU, G. H.; LI, Z. Y.; ZHANG, L.; XU, Y. Image retrieval based on micro-structure descriptor. **Pattern Recognition**, v. 44, p. 2123-2133, 2011.
- LÓPEZ, D. H.; GARCÍA, B. F.; PIQUERAS, J. G.; ALCÁZAR, G. V. An approach to the radiometric aerotriangulation of photogrammetric images. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 66, n. 6, p. 883-893, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.09.011>
- MARTIN, M. E.; ABER, J. D. High spectral resolution remote sensing of forest canopy lignin, nitrogen, and ecosystem processes. **Ecological Applications**, v. 7, n. 2, p. 431-443, 1997. [http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0431:HSRRS O\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0431:HSRRS O]2.0.CO;2)
- MATSON, P.; JOHNSON, L.; BILLOW, C.; MILLER, J.; PU, R. L. Seasonal patterns and remote spectral estimation of canopy chemistry across the Oregon transect. **Ecological Applications**, v. 4, n. 2, p. 280-298, 1994. <http://dx.doi.org/10.2307/1941934>
- MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- MERZLYAK, J. R.; GITELSON, A. A.; CHIVKUNOVA, O. B.; RAKITIN, V. Y. Nondestructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, v. 106, n. 1, p. 135-141, 1999. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.106119.x>
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 208 p.
- NERIS, L. O. **Um piloto automático para as aeronaves do projeto ARARA**. 2001. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação)-Universidade de São Paulo, São Carlos.
- ÖZDEMİR, S. **Multi objective conceptual design optimization of na agricultural aerial robot**. 2005. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeroespacial)-Middle East Technical University, Turquia, 2005.
- PAN, J.; WANG, M.; LI, D. R.; LI, J. Automatic generation of seamline network using area Voronoi diagrams with overlap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 47, n. 6, p. 1737-1744, 2009. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2008.2009880>
- PEÑUELAS, J.; BARET, F.; FILELLA, I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll: a ratio from leaf spectral reflectance. **Photosynthetica**, v. 31, p. 221-230, 1995.
- PRZYBILLA, H. J.; WESTER-EBBINGHAUS, W. Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. **Bildmessung und Luftbildwesen**, v. 47, n. 5, p. 137-142, 1979.
- RASI, J. R. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em pulverização agrícola**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- RESEARCH SYSTEMS. **What's new in ENVI 4.2**. Boulder, 2005. 160 p.
- ROY, S.; MEUNIER, J.; COX, I. Cylindrical rectification to minimize epipolar distortion. In: IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 1997, San Juan. **Proceedings...** IEEE, 1997. p. 393-399. <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.1997.609355>
- SERRANO, L.; PENUELAS, J.; USTIN, S. L. Remote sensing of nitrogen and lignin in mediterranean vegetation from AVIRIS data: decomposing biochemical from structural signals. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, n. 2-3, p. 355-364, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00011-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00011-1)
- SERRANO, L.; USTIN, S. L.; ROBERTS, D. A.; GAMON, J. A.; PENUELAS, J. Deriving water content of chaparral vegetation from AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 3, p. 570-581, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00147-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00147-4)
- SIMPSON, A. D. **Development of an unmanned aerial vehicle for low-cost remote sensing and aerial photography**. 2003. Tese (Mestrado em Ciência)-University of Kentucky, Lexington, 2003.
- SNYDER, C.; HAVLIN, J.; KLUITENBERG, G.; SCHROEDER, T. Evaluating the economics of precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Madison. **Proceedings...** Madison, 1999. p. 1621-1632.
- SOILLE, P. Morphological image compositing. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 28, n. 5, p. 673-683, 2006. <http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2006.99>

- SPANNER, M. A.; PIERCE, L. L.; PETERSON, D. L.; RUNNING, S. W. Remote-sensing of temperate coniferous forest Leaf-Area Index-the influence of canopy closure, understory vegetation and background reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, n. 1, p. 95-111, 1990a. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169008955002>
- SPANNER, M. A.; PIERCE, L. L.; RUNNING, S. W.; PETERSON, D. L. The seasonality of AVHRR data of temperate coniferous forests-relationship with Leaf-Area Index. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, n. 2, p. 97-112, 1990b. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(90\)90036-L](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(90)90036-L)
- TREITZ, P. M.; HOWARTH, P. J. Hyperspectral remote sensing for estimating biophysical parameters of forest ecosystems. **Progress in Physical Geography**, v. 23, n. 3, p. 359-390, 1999.
- TRINDADE JUNIOR, O.; JORGE, L. A. C.; AGUIAR, J. G. B. Using UAVs for precision farming: first results. In: UNMANNED SYSTEMS NORTH AMERICA, 2004, Baltimore. **Proceedings...**
- USTIN, S. L.; ZARCO-TEJADA, P. J.; ASNER, G. P. The role of hyperspectral data in understanding the global carbon cycle. In: JPL AIRBORNE EARTH SCIENCE WORKSHOP, 10., 2001, Pasadena. **Proceedings...** p. 397-410.
- VARSHNEY, P. K.; ARORA, M. K. **Advanced image processing techniques for remotely sensed hyperspectral data**. New York: Springer, 2004. 322 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05605-9>
- VAN DER MEER, F. D.; JONG, S. M.; BAKKER, W. (Ed.). **Imaging spectrometry: basic analytical techniques**. Imaging spectrometry: basic principles and prospective applications. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 157 p.
- WANG, C. X.; STEFANIDIS, A.; CROITORU, A.; AGOURIS, P. Map registration of image sequences using linear features. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 74, n. 1, p. 25-38, 2008. <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.74.1.25>
- ZAGOLSKI, F.; PINEL, V.; ROMIER, J.; ALCAYDE, D.; FONTANARI, J.; GASTELLU-ETCHEGORRY, J. P.; GIORDANO, G.; MARTY, G.; MOUGIN, E.; JOFFRE, R. Forest canopy chemistry with high spectral resolution remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 6, p. 1107-1128, 1996. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608949073>
- ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; BERNI, J. A. J. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. **Remote Sensing of Environment**, v. 117, p. 322-337, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.007>
- ZISCHINSKY, T.; DORFNER, L.; ROTTENSTEINER, F. **Application of a new Model Helicopter System in Architectural Photogrammetry**. Amsterdam: IAPRS, 2000. Part B5/2. (v. XXXIII).
- ZHONG, M.; ZENG, J.; XIE, X. Panorama Stitching Based on SIFT Algorithm and Levenberg-Marquardt Optimization. **Physics Procedia**, v. 33, p. 811-818, 2012.