

Metodologia para Utilização de Aeromodelos em Monitoramento Aéreo

A fotografia aérea tem sido largamente utilizada pela comunidade agrícola para documentar e identificar muitos problemas e soluções na agricultura. Alguns exemplos desse uso são: avaliação de danos causados por doenças, por insetos, pela ação dos ventos e do fogo, problemas de aplicação de herbicidas e fertilizantes, avaliação da uniformidade na irrigação, avaliação de novos produtos e mapeamento sistemático dos solos de caráter: geológico, topográfico e hidrológico, assim como mapeamentos de recursos naturais. (Beverly, 1996; Moran, 1997; Molin, 1997; Meron, 2000). As fotografias, em sua maioria, são obtidas através de aviões tripulados ou satélites. Esses meios de aquisição apresentam como principal desvantagem o seu alto custo, impossibilitando, muitas vezes, a sua utilização de forma sistemática.

Os custos de aquisição de fotografias aéreas podem ser reduzidos drasticamente com a utilização dos veículos aéreos não tripulados - UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Os UAV's não possuem um operador humano a bordo, seguem os mesmos princípios de operação das aeronaves convencionais e normalmente são de tamanho reduzido. Com a miniaturização dos componentes eletrônicos e o incremento do poder de processamento dos computadores, tornou-se possível a utilização de UAV's em diversas áreas.

O projeto ARARA (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas), está centrado no desenvolvimento e uso de UAV's, de escala reduzida, para monitoramento aéreo. Seu principal objetivo é a substituição de aeronaves convencionais utilizadas na obtenção de fotografias aéreas, para monitoramento de áreas agrícolas e áreas sujeitas a problemas ambientais, por UAV's de pequeno porte que realizam missões pré-estabelecidas pelos usuários. O projeto ARARA está sendo desenvolvido no Laboratório de Computação de Alto Desempenho do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - USP São Carlos em cooperação com a EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, São Carlos SP.

Tipos de Aeromodelos

Cada tipo representa sistemas com níveis de complexidade e custo crescentes, adequados para aplicações com diferentes níveis de abrangência geográfica e automação.

Tipo I - Pilotagem remota, com visão direta da aeronave.

As aeronaves dessa fase são construídas a partir de kits convencionais de aeromodelo adquiridos em lojas de aeromodelismo. Uma câmera fotográfica digital é adaptada na aeronave e é disparada através de equipamento de rádio-controle. O alcance médio nestes sistemas é de 1000 metros.

O tipo de câmera utilizada depende da aplicação, podendo ser desde uma câmera fotográfica 35 mm convencional com velocidades de obturador normalmente acima de 1/2000s, câmeras fotográficas digitais até filmadoras digitais.

Este tipo de sistema é adequado para aplicações onde o vôo da aeronave pode ser controlado de terra (pilotagem remota, com visão direta da

aeronave). Como resultado consegue-se imagens com nitidez aceitável para as aplicações

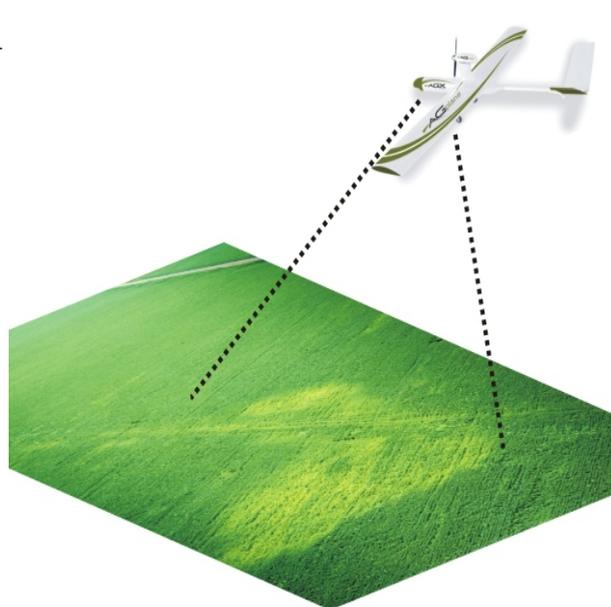


Foto: Arquivo

Autores

Lúcio André de Castro Jorge
Engenheiro Eletrônico, MSc.,
Embrapa Instrumentação
Agropecuária, C.P. 741,
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
lucio@cnpdia.embrapa.br

Onofre Trindade Junior
Engenheiro Eletrônico, Dr.,
ICMC-USP
CEP 13560-970,
São Carlos, SP
otjunior@lcad.icmc.sc.usp.br

completamente funcionais e mostram os dados obtidos dos sensores a bordo da aeronave. Uma vez que a área designada está sob visada da câmera apontada para baixo, o piloto pode disparar uma câmera fotográfica a bordo ou acionar um gravador de vídeo.



Figura 3: Sistema de Telemetria e Telecomandos (STT) do Projeto ARARA

O STT foi dividido em dois módulos: MA (Módulo Aéreo) e MB (Módulo Base). No MA, encontram-se os componentes embarcados na aeronave e, no MB, encontram-se os componentes da estação de solo. A figura 4 apresenta o diagrama de blocos do STT ressaltando a interação existente entre MA e MB.

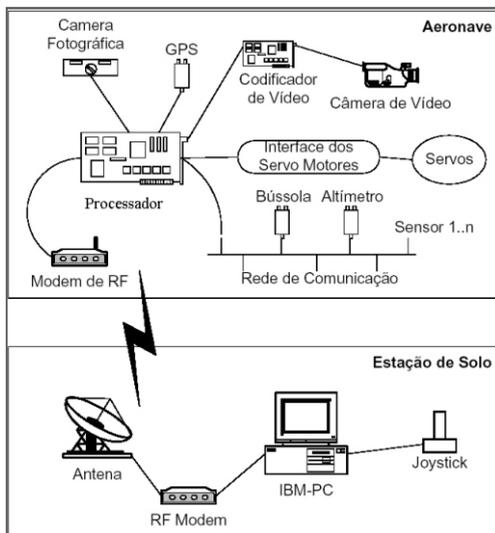


Figura 4: Diagrama de contexto STT

O processador que gerencia a maioria dos componentes de hardware do MA é o principal componente de hardware embarcado na aeronave. Está ligado ao modem de RF, à câmera fotográfica, à interface dos servomotores, ao codificador de vídeo, ao GPS e à rede de comunicação (Padrão I2C). Ao contrário do MA, o MB é composto por componentes convencionais de hardware como um microcomputador padrão IBM-PC, um joystick e um modem de RF.

Os tipos de dados transmitidos pelo canal de comunicação são classificados em três grupos: Dados de Telecomando, Dados de Telemetria e Dados de Vídeo. Os dados de telecomando são provenientes da estação em solo e são responsáveis pelo controle remoto da aeronave, ou seja, intervenções do operador por meio de um dispositivo conectado ao microcomputador da estação de solo (joystick, mouse, teclado, etc.) Os dados de telecomando podem atuar diretamente nos dispositivos de controle da aeronave como profundor, leme de direção, ailerons, flaps e aceleração do motor, ou em outros tipos de dispositivos, como por exemplo, câmeras fotográficas (acionamento), câmeras de vídeo (seleção de câmera, captura de quadro e configuração de parâmetros de resolução) e pára-quedas (acionamento). Os dados de telemetria são gerados pela aeronave e são utilizados principalmente na realização de vôos manuais. Eles indicam o estado da aeronave, como por exemplo, a direção e a altitude. Os pacotes de dados de telemetria são transmitidos do módulo aéreo para o módulo base em intervalos de 500 ms. Os dados de vídeo são transmitidos através de um link analógico. O fluxo de vídeo digital encontra-se em desenvolvimento.

Aeronaves da fase II permitem vôos além do alcance visual, chegando neste caso a 10 km de raio.

Tipo III - Vôo autônomo

O sistema do tipo III é similar ao do tipo II. A diferença principal está no software necessário para realizar operações autônomas - piloto automático. No projeto ARARA o piloto automático é composto pelo Sistema de Navegação (Barbosa, 2001) e pelo Sistema de Controle (Neris, 2001). O propósito do sistema de Navegação é guiar a aeronave ao longo de uma trajetória definida previamente pelo usuário. Para tal, são calculadas e enviadas as manobras a serem executadas pelo Sistema de Controle. Este, por sua vez, em resposta às manobras calculadas, deve atuar nos dispositivos de controle da aeronave, posicionando-a na posição desejada. Outra função do Sistema de Controle do projeto ARARA é estabilizar as características dinâmicas da aeronave, controlando sua atitude e velocidade (Neris, 2001).

A divisão do piloto automático nos módulos: Sistema de Navegação e Sistema de Controle foi escolhida devido à facilidade de manutenção do sistema e facilidade na substituição da aeronave. O Sistema de Controle e o Sistema de Navegação, juntamente com um Sistema Planejador de Missão, compõem um sistema de três camadas. Nesta configuração, fica a cargo do Sistema de Controle conhecer todos os parâmetros operacionais da aeronave. A figura 5 ilustra os sistemas mencionados e apresenta interação entre estes eles.

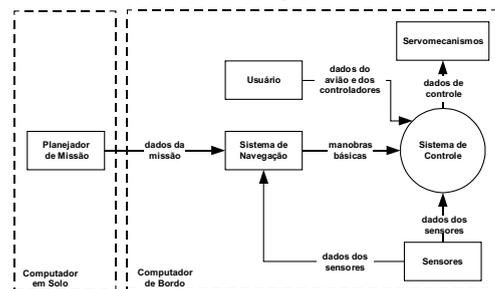


Figura 5: Piloto Automático e Planejador de Missão

previstas (Souza, 1990; Souza, 1998). Um transmissor opcional de vídeo pode ser usado para fornecer imagens em tempo real, em aplicações de monitoramento.

Na figura 1 podem ser vistos exemplos de aeronaves Tipo I utilizadas.



Figura 1a: ARARA I Avião



Figura 1b: ARARA I - Helicóptero.

Tipo II Pilotagem remota por instrumentação, sem visão direta da aeronave.

As aeronaves dessa fase são modelos desenhados especificamente para o Projeto ARARA. A aeronave típica que se mostrou totalmente adequada ao projeto pode ser observada na figura 2.

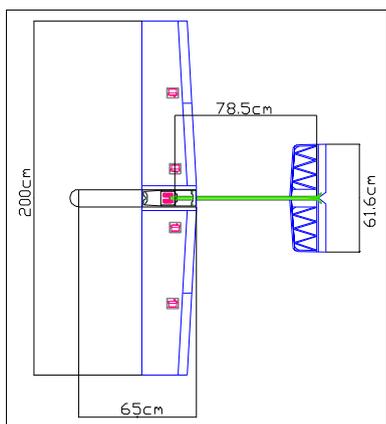


Figura 2a: Projeto da Aeronave ARARA I

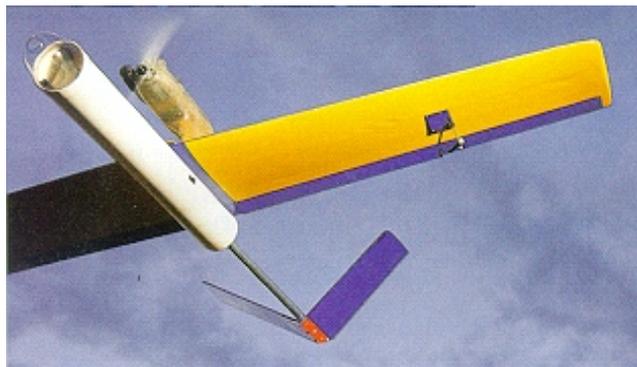


Figura 2b: Aeronave ARARA II

A aeronave ARARA II foi projetada de forma a minimizar custos e diminuir o tempo de construção. Esta aeronave é composta em sua estrutura de materiais simples e de fácil manuseio, de fácil operação e alta resistência a quedas.

Sua fuselagem é composta de um tubo de PVC comum onde são abrigados os dispositivos eletrônicos. Um tubo de alumínio de 1 milímetro de espessura conecta a cauda à fuselagem da aeronave. As asas são compostas por isopor revestido de madeira e plástico adesivo. Devido à instalação de câmeras em sua parte frontal, o motor está posicionado sobre as asas. O seu peso total corresponde a 4 Kg, podendo transportar até 1,5 kg de carga útil. Também estão disponíveis modelos em escala maior com carga útil de até 9kg.

Empregada principalmente no monitoramento, inspeção e coleta de dados em áreas desprovidas de locais de pouso, a aeronave ARARAII não possui sistemas de aterrissagem (trem de pouso). A sua decolagem pode ser realizada com o auxílio de uma catapulta. O seu pouso é realizado através de um pára-quadras instalado na fuselagem.

A aeronave ARARA II dispõe de uma grande variedade de sensores a bordo para controle de voo sem visada direta da aeronave, tais como GPS, altímetro, velocímetro, horizonte artificial, rotação do motor, nível de combustível, etc. Duas câmeras instaladas na aeronave geram imagens que são transmitidas a um computador na estação em solo. Uma das câmeras, instalada na frente da aeronave, permite que se possa pilotar a aeronave fora do seu alcance visual, enquanto que a outra câmera, voltada para baixo, permite a localização da área de interesse. As imagens transmitidas pela aeronave são sobrepostas à imagem de um painel convencional de avião pelo programa STT (Sistema de Telemetria e Telecomando do projeto ARARA) ilustrado na figura 3 (Ribeiro, 2000; Trevizani, 2002).

O STT permite a interação entre um usuário e o UAV, remotamente pilotado ou autônomo. Utilizando esse sistema o usuário pode acompanhar um voo observando as mudanças de estado da aeronave, transmitir comandos para a mesma e assistir ao vídeo transmitido pela aeronave. O objetivo do STT é fazer com que o usuário interaja com a aeronave da mesma maneira que ele interage com um jogo de simulação de voo. Os instrumentos visualizados no computador são

O módulo Planejador de Missão, ilustrado na figura 6, permite ao usuário definir uma rota e um conjunto de tarefas associado a cada waypoint da rota que será seguida pelo avião. A partir dessa interface o usuário tem a opção de inserir marcos no mapa, traçar a rota ou gerar um novo plano de voo (Barbosa, 2001).

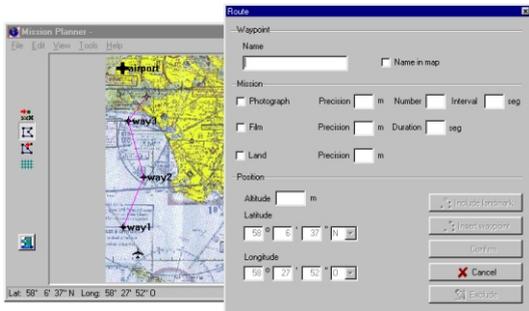


Fig. 6: Tela do Planejador de Missão

A navegação é baseada no sistema de posicionamento GPS e em um conjunto de sensores de navegação instalados a bordo do avião. Este sistema foi projetado de forma a maximizar a sua independência do Sistema de Controle e dos parâmetros que caracterizam cada tipo de avião. A interface entre os dois sistemas é realizada simplesmente por comandos simples, como por exemplo "vô ascendente".

A rota a ser seguida pela aeronave é descomposta em pares de waypoints pelo Sistema de Navegação. O trecho de rota compreendido entre cada par de waypoints é decomposto em manobras básicas que são enviadas ao Piloto Automático para serem realizadas pela aeronave. O Sistema de Navegação monitora a execução das manobras e caso o resultado da sua realização não coincidir com o resultado esperado, o sistema calcula um novo conjunto de manobras e o envia ao piloto automático (Barbosa, 2001).

O Sistema de Controle possui como função manter a atitude do avião constante e realizar as manobras enviadas pelo Sistema de Navegação. Fica a cargo do Sistema de Navegação controlar a direção do avião e realizar as correções em sua rota caso ele seja atingido por rajadas de vento. Estas correções sempre são realizadas através das manobras enviadas ao Sistema de Controle.

Os componentes básicos do Sistema de Controle são cinco controladores PID executados e ajustados de forma independente. Os parâmetros destes controladores são ajustados através de simulações realizadas. Os controladores PID devem manter a velocidade, o ângulo de rolagem, o ângulo de sideslip e a altitude ou a rotação do motor. Para cada manobra básica, enviada pelo sistema de Navegação, o Sistema de Controle seleciona o conjunto de dados adequados que devem ser mantidos pelos controladores PID. (Neris, 2001).

O modelo do Sistema de Controle para as aeronaves do projeto ARARA, construído sobre o MATLAB e o Simulink é apresentado na figura 7. Este modelo é composto basicamente pelo seletor de parâmetros; pelos controladores PID de velocidade, rolagem, sideslip, RPM e altitude; pelo modelo dos atuadores e pelo modelo do avião. O bloco Seletor de Parâmetros é responsável por ajustar os parâmetros de todos os controladores em função da manobra a ser realizada.

O Sistema de Navegação e o Planejador de Missão do Projeto ARARA, juntamente com o Sistema de Controle fazem com que as aeronaves do projeto ARARA possam realizar missões de forma completamente autônoma.

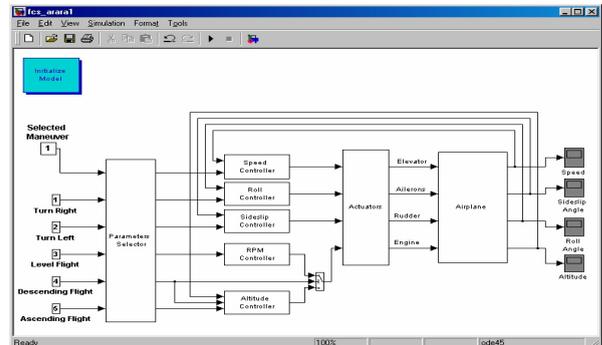


Figura 7 Modelo do Sistema de Controle

Tipo IV Vôo autônomo com Processamento das Imagens a bordo

Dois formas de processamento estão sendo desenvolvidas: a bordo da aeronave, em tempo real e na estação de base, posteriormente à coleta.

Dentre os processamentos em tempo real, estão as aplicações de monitoramento totalmente autônomas como a contagem de árvores em uma determinada área ou a localização de áreas sujeitas a desmatamento, contagem de animais, identificação de doenças e pragas, dentre outras. Nos processamentos pós-coleta vários tipos de aplicações podem ser realizadas, como análise de pragas, deficiência hídrica, zoneamento de sítios homogêneos, monitoramento de culturas e estudos de conservação do solo.

Muitas aplicações dependem do tipo de câmera utilizada e da resposta espectral da câmera. Através do processamento de imagens aéreas obtidas em diferentes bandas é possível detectar mudanças fisiológicas e estruturais em plantas, mesmo antes destas alterações estarem visíveis a olho nu (ex. redução de espaços interfoliares ou diminuição de teores de clorofila). Essas informações quando processadas podem orientar programas de aplicação de defensivos agrícolas de forma otimizada. (Moran, 1997).

Estimativas de evapotranspiração e índice de deficiência hídrica podem ser acompanhados pela análise de imagens multiespectrais combinando duas imagens de bandas espectrais diferentes, normalmente uma na porção do infravermelho e outra na porção visível do espectro eletromagnético. Existem câmeras multiespectrais disponíveis que podem ser instaladas nos UAV's do projeto ARARA.

Acompanhar o desenvolvimento de uma cultura tem sido cada vez mais imprescindível para a tomada de decisões. Ajustes em tratamentos culturais, irrigação e mesmo replantios podem ser executados pela detecção de falhas nos talhões da cultura ou diferenças no desenvolvimento. Imagens de alta resolução podem prover tais dados e auxiliar o acompanhamento do desenvolvimento de um campo de cultivo, uma vez que as falhas e as diferenças de padrões são claramente percebidas.

Alguns trabalhos de processamento das imagens aéreas até então obtidas incluem a identificação e contagem de aves para monitoramento ecológico no

pantanal mato-grossense, contagem de árvores, identificação da cobertura do solo e a medição de áreas (Jorge, 1999; Jorge, 2001). Outros estão em andamento como a geração automática de mosaicos fotográficos multi-resolução, a modelagem plano-altimétrica de terrenos e a geração de mapas multiespectrais para uso em agricultura de precisão.

Identificação da cobertura do solo e medida de áreas:

Foram desenvolvidas metodologias automáticas para o acompanhamento de uma área agrícola através de imagens aéreas. Especificamente a identificação e a classificação da cobertura do solo. A grande dificuldade está na falta de metodologias apropriadas para a análise e a classificação dos padrões de cobertura, principalmente para monitoramento de pequenas propriedades. Imagens de cobertura são imagens complexas, com padrões difíceis de serem definidos. Foram testados métodos clássicos de análise bem como técnicas não convencionais, como as Redes Neurais, principalmente pela possibilidade de implementação em hardware específico de alto desempenho.

Na figura 8 pode-se observar uma imagem aérea obtida com o ARARA I e os respectivos resultados com a técnica de redes neurais. O que se pretende aqui é identificar e quantificar áreas com diferentes padrões de cobertura.

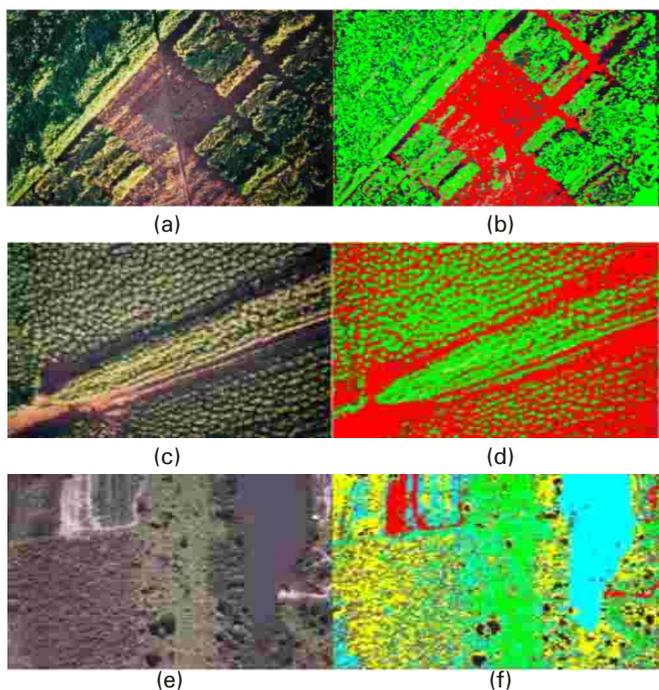


Figura 8: Fotografias aéreas de uma área e a respectiva segmentação automática por redes neurais.

Resultados típicos de imagens obtidas



Figura 9a: Visão aérea da região do aeroclube de São Carlos-SP

Figura 9b: Faz. Nova Trento, em Gavião Peixoto-SP, produtora de citrus



Figura 10a: Exemplo de imagem a 8 m de altura, São Carlos-SP

Figura 10b: Exemplo de imagem a 20 m de altura, São Carlos-SP



Figura 11: Vista geral Fazenda Canchim, São Carlos-SP

Figura 12: Tomada típica em experimento de cobertura vegetal Embrapa Sede, Brasília-DF

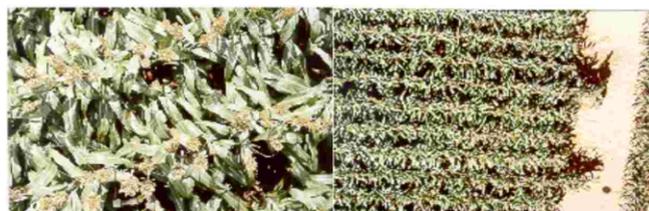


Figura 13a: Tomada típica em experimento de cobertura vegetal Embrapa Sede, Brasília-DF

Figura 13b: Tomada geral da Embrapa Sede, Brasília-DF



Figura 14a: Tomada geral da Embrapa Sede, Brasília-DF

Figura 14b: Tomada geral da Embrapa Sede, Brasília-DF



Figura 15a: Tomada geral área urbana, Brasília-DF

Figura 15b: Tomada geral área urbana, Brasília-DF



Figura 16a: Tomada represa Billings para estudo de pássaros, São Paulo-SP

Figura 16b: Tomada represa Billings para estudo de pássaros, São Paulo-SP

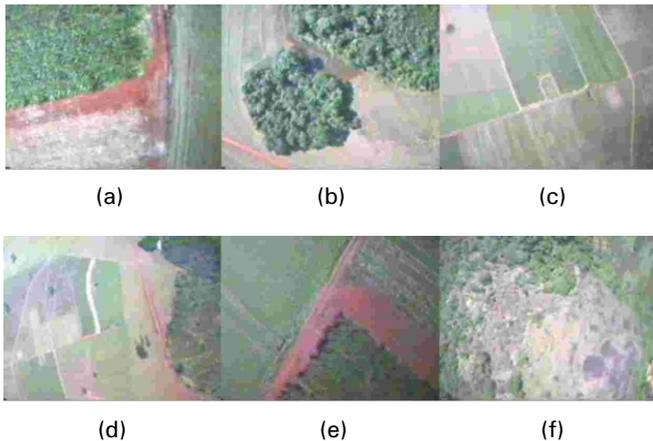


Figura 17: Imagens de vídeo transmitidas para o piloto em solo, Embrapa-SP

Comentários Adicionais

A diferença entre as imagens aéreas obtidas por satélite e por aviões está no nível de detalhes que cada um fornece. Enquanto a imagem de satélite tem abrangência áreas superiores a 100 x 100 Km e resolução espacial de 30 m de pixel, na videografia espacial a área pode ser regulada pela altitude da aeronave, podendo variar de alguns centímetros a alguns metros. Apesar disso existem satélites como o IKONOS cuja resolução espacial é bem maior, porém ainda com custo mais elevado. No caso dos satélites existe também a periodicidade, que por exemplo pode ser de até 16 dias, período que nem sempre pode coincidir com o pico do ciclo vegetativo da cultura. As nuvens também são impedimentos neste tipo de captura de imagens.

As formas de monitoramento, seja por satélite ou por fotografias aéreas, não são muito distintas e dependem da quantidade de imagens e do tempo de processamento das mesmas e também da resolução desejada.

Referências Bibliográficas

BARBOSA, L. C. P. SiNaCoM - Sistema de navegação e controle de missão do Projeto ARARA. 2001. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BEVERLY, R. B. Video image analysis as a nondestructive measure of plant vigor for precision agriculture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 27, n. 3/4, p. 607-614. 1996.

- JORGE, L. A. C.; SOUZA, N. P.; TRINDADE JR., O.; TOZZI, C. L.; TORRE NETO, A. Studies of soil conservation for precision farming by digital color image analysis. In: ASAE/CSAE-SCGR ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1999. Proceedings... Toronto: [s. n.], 1999. não-paginado. 1. CD-ROM.
- JORGE, L. A. C. Determinação da cobertura do solo em fotografias aéreas do Projeto ARARA. 2001. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- MERON, M.; COHEN, S.; MELMAN, G. Tree shape and volume measurement by light interception and aerial photogrammetry. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 43, n. 2, p. 475-481, 2000.
- MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte I: O que é estado da arte em sensoriamento. *Engenharia Agrícola*, Sorocaba, v. 17, n. 2, p. 97-107, dez. 1997.
- MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 61, p. 319-346, 1997.
- NERIS, L. O. Um piloto automático para as aeronaves do Projeto ARARA. 2001. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- PALMA, E. C.; TRINDADE, JR., O. Uma aeronave rádio controlada para aplicação na agricultura: instrumentação de bordo. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 7. São Paulo, 1999. Anais eletrônicos... São Paulo: USP, 1999.
- RIBEIRO, R. E. Um sistema para telemetria e telecomando de aeronaves do Projeto ARARA. 2000. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SOUZA, N. P. Sistemas alternativos para a obtenção de imagens aéreas e sua aplicação na agricultura. 1999. Dissertação (Mestrado) Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SOUZA, N. P.; TRINDADE JÚNIOR, O.; JORGE, L. A. C. Uso de aeronaves rádio controladas na obtenção de fotografias aéreas: resultados iniciais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA-SIAGRO, 2., 1998, São Carlos. Anais do II SIAGRO. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000. p. 273-281. Editores: Paulo Estevão Cruvinel, Luiz Alberto Colnago, André Torre-Neto.
- TREVIZANI, K. M. Sistema Embarcado para transmissão de dados e vídeo digital no Projeto ARARA. 2002. 117 f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Circular Técnica, 15

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Instrumentação Agropecuária
 Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741
 CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 274 2477
Fax: 16 272 5958
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br
 www.cnpdia.embrapa.br

1a. edição
 1a. impressão 2002: tiragem 300

Comitê de Publicações

Presidente: Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Secretária Executiva: Janis Aparecida Baldovinotti
Membros: Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis,
 Dr. João de Mendonça Naime,
 Dr. Rubens Bernardes Filho,
 Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Membro Suplente: Débora Marcondes B. P. Milori

Expediente

Supervisor editorial: Dr. Odílio B. Garrido de Assis
Revisão de texto: Janis Aparecida Baldovinotti
Tratamento das ilustrações: Valentim Monzane
Editoração eletrônica: Valentim Monzane