



Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2

Leonardo Tullio
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2018

LEONARDO TULLIO

(Organizador)

**Aplicações e Princípios do
Sensoriamento Remoto
2**

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-48-2

DOI 10.22533/at.ed.482180110

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

No Volume II da obra “Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto” trazemos até você os mais diversos trabalhos da área, contando agora com 22 capítulos inéditos. Vimos a importância deste tema no Volume I e agora esperamos contribuir significativamente com outras aplicações em diversas áreas de atuação.

Percebemos que os avanços tecnológicos substituem algumas formas de agir e pensar, de maneira instantânea e a níveis de confiança altíssimos. Assim a contribuição e os avanços nas pesquisas são favorecidos com o uso de softwares aplicados ao Sensoriamento Remoto. Visto a necessidade de programas computacionais específicos para análise conjunta de dados sobre a imagem e de maneira rápida, percebemos a significativa atuação da tecnologia neste meio.

Neste sentido, ressaltamos a importância do conhecimento específico e aplicado, pois a tecnologia analisa a partir de comandos, porém, a análise e a definição do certo ou errado ainda está na dependência do operador, que exige conhecimento em sua realização. Aplicações práticas e com resultados significativos são fundamentais para o sucesso de uma pesquisa, a classificação seja ela supervisionada ou não, garante a interpretação fiel da realidade estudada. Porém, refinar as técnicas de análise e comparar os resultados são importantes.

Contudo, ressaltamos a necessidade do conhecimento avançado sobre o que se propõe a estudar e qual método mais adequado, pois a interação dos dois reflete a confiança e qualidade do resultado. Portanto, a busca por conhecimento é insaciável e nos faz aprender a cada capítulo desta obra.

Por fim, desejo bons estudos e muito conhecimento adquirido com as informações e resultados trazidos nos capítulos desta obra.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA PAISAGEM ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SERRA DO NAVIO-AP	
<i>Érica Patrícia Viegas dos Santos</i>	
<i>Dário Rodrigues de Melo Junior</i>	
<i>Olavo Rodrigues Fagundes Neto</i>	
<i>Tasso Wesley Galeno Barreto</i>	
<i>Patrícia Helena Turola Takamatsu</i>	
<i>Fabiano Luís Belém</i>	
CAPÍTULO 2	14
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS GEOFORMAS FLUVIAIS DO BAIXO CURSO DO RIO DOCE COM O AUXÍLIO DE IMAGENS ORBITAIS LANDSAT 8 - LINHARES, ES	
<i>Andressa Padovani Gil</i>	
<i>André Luiz Nascentes Coelho</i>	
CAPÍTULO 3	25
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO DA ÁREA E ENTORNO DO PARQUE MUNICIPAL DUNAS DE ABRANTES, CAMAÇARI - BAHIA	
<i>Luiz Felipe Moura Bastos Borges</i>	
<i>Desiree Alves Celestino Santos</i>	
<i>Fábia Antunes Zaloti</i>	
<i>Saulo Medrado dos Santos</i>	
<i>Dária Maria Cardoso Nascimento</i>	
CAPÍTULO 4	36
ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, MG: UMA PROPOSTA PARA MELHOR ENTENDIMENTO DOS LIMITES E DA DINÂMICA ESPACIAL DAS SUPERFÍCIES EROSIVAS	
<i>Samia de Moura Passarella</i>	
CAPÍTULO 5	54
ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE	
<i>Leonardo Nascimento Lima</i>	
<i>Luciano Ponzì Pezzi</i>	
CAPÍTULO 6	69
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE WUNDERLICHIA AZULENZIS	
<i>Alline Zagnoli Villela Motta</i>	
<i>Sollano Rabelo Braga</i>	
<i>Alessandra Morais Melo</i>	
<i>Nathalia Drummond Marques da Silva</i>	
<i>Cristiano Christofaro</i>	
CAPÍTULO 7	80
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)	
<i>Darllan Collins da Cunha e Silva</i>	
<i>Deborah de Matos</i>	
<i>Renan Angrizani de Oliveira</i>	
<i>Vanessa Cezar Simonetti</i>	
<i>Roberto Wagner Lourenço</i>	

CAPÍTULO 8 94

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À GCP'S EM MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT

José Adriano da Silva
Vinicius Bitencourt Campos Calou
Adunias dos Santos Teixeira
Daniel Albiero

CAPÍTULO 9 105

CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI, NDWI E EVI) DE IMAGEM LANDSAT-8 COM ATRIBUTOS DO SOLO

Barbara de Oliveira Sousa Castro
Anderson Antonio da Conceição Sartori
Flávia Luize Pereira de Souza
Letícia Albano Benites

CAPÍTULO 10 117

DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADROTOR TOTALMENTE AUTÔNOMO DE ALTA PRECISÃO PARA SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS DE VEGETAÇÃO POR CÂMERA MULTIESPECTRAL GEORREFERENCIADA

Thiago Vieira Nogueira Coelho
Lucas Moraes
Rafael Falcí Campos
Luis Carlos Carmo Jr.
Daniel Discini Silveira
André Luis Marques Marcato
Alexandre Bessa dos Santos

CAPÍTULO 11 134

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ALVOS PRÉ-SINALIZADOS PARA APOIAR LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS REALIZADOS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Glauber Carvalho Costa
Igor de Carvalho Almeida
Rafael Claudino da Silva
Rafael Bazílio Viana

CAPÍTULO 12 144

ESTUDO SOBRE O EMPREGO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E ELEVAÇÃO, GERADOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL, PERFILAMENTO A LASER AÉREO, SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 E WORLDDDEM, COM ÊNFASE EM PROJETOS VIÁRIOS

Glauber Carvalho Costa
Igor de Carvalho Almeida
Rafael Claudino da Silva
Rubens José Souza Galvão
Rafael Bazílio Viana

CAPÍTULO 13 155

FRONTEIRA AGRÍCOLA E A ESTRUTURA DA PAISAGEM NA SUB-BACIA DO RIO RIACHÃO – OESTE DA BAHIA

Crisliane Aparecida Pereira dos Santos
Edson Eyji Sano
Pablo Santana Santos

CAPÍTULO 14 165

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCUPAÇÃO IRREGULAR POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NO BAIRRO DE GRAMAME, EM JOÃO PESSOA – PB

Erickson Melo de Albuquerque
Cícero Fidelis da Silva Neto
Marcos Leonardo Ferreira dos Santos

CAPÍTULO 15..... 175

ÍNDICES TEXTURAIS DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA FLONA DO TAPAJÓS (PARÁ), UTILIZANDO IMAGENS DE MÉDIA RESOLUÇÃO ESPACIAL FUSIONADAS.

Marília Gabriela Lopes da Silva
Tássio Franco Cordeiro
Rodrigo Rafael Sousa de Oliveira
Igor da Silva Narvaes
Alessandra Rodrigues Gomes
Marcos Adami
Lucas José Mazzei de Freitas
Dalton de Morisson Valeriano

CAPÍTULO 16..... 190

INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA APOIAR RESPOSTAS A EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS: A EXPERIÊNCIA DA UNIDADE ESTADUAL DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DURANTE AS INUNDAÇÕES DE 2015 NA BACIA DO RIO ACRE – ACRE/BRASIL

Alan dos Santos Pimentel
Vera Lúcia Reis
Ylza Marluce Silva de Lima
Luiz Alves dos Santos Neto
Diana de Souza Bezerra
Tatiane Mendonça de Lima
Irving Foster Brown

CAPÍTULO 17 201

INDICAÇÃO ESTATÍSTICA DE ÁREAS DE GARIMPO DE AMETISTA COM O USO DE IMAGENS ASTER

Jean Marcel de Almeida Espinoza
Deivid Cristian Leal Alves
Silvia Beatriz Alves Rolim
Jefferson Rodrigues dos Santos
Maurício Soares Ortiz
Miguel da Guia Albuquerque

CAPÍTULO 18..... 213

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

Jorge Luís Silva Brito
Roberto Rosa
Mirna Karla Amorim da Silva

CAPÍTULO 19..... 222

MÉTRICAS DE PAISAGEM NA CARACTERIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS POR MEIO DA FUSÃO DA IMAGEM CBERS 4

Caroline Bessi Fávero
Anderson Antonio da Conceição Sartori
Sidnei Fonseca Guerreiro
Victor Munhoz Ruiz
Rosane Maria Kaspary
Martha Santana Martins

CAPÍTULO 20..... 240

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE RORAIMA, NORTE DA AMAZÔNIA

Maristela Ramalho Xaud
Cláudia Maria de Almeida
Haron Abraham Magalhães Xaud

CAPÍTULO 21..... 254

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA.

Gabriella Santos Arruda de Lima

Nilson Clementino Ferreira

CAPÍTULO 22..... 265

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SWAT PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PETROLINA, ESTADO DE PERNAMBUCO

Teônia Casado da Silva

Madson Tavares Silva

Danielle Teixeira Alves da Silva

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Eduardo da Silva Margalho

SOBRE O ORGANIZADOR274

DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADROTOR TOTALMENTE AUTÔNOMO DE ALTA PRECISÃO PARA SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS DE VEGETAÇÃO POR CÂMERA MULTIESPECTRAL GEORREFERENCIADA

Thiago Vieira Nogueira Coelho

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Lucas Moraes

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Rafael Falci Campos

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Luis Carlos Carmo Jr.

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Daniel Discini Silveira

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

André Luis Marques Marcato

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Alexandre Bessa dos Santos

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

RESUMO: Este trabalho mostra o design e desenvolvimento de um VANT (Veículo

Aéreo Não-Tripulado) do tipo quadrotor, para aplicação de sensoriamento remoto de áreas verdes, capaz de realizar os procedimentos de decolagem, voo e aterrissagem sem a necessidade de um piloto qualificado. Os algoritmos para a missão autônoma foram desenvolvidos na *framework* ROS (Robotic Operation System), que é um ambiente de desenvolvimento bem estabelecido e muito difundido na área de robótica. Um módulo Optical Flow foi utilizado com os dados de GPS para melhorar a estimativa de geolocalização do VANT. A melhora desta solução foi de aproximadamente 56% em relação ao erro com apenas o módulo de GPS habilitado. Uma câmera multiespectral georreferenciada embutida na aeronave é responsável por realizar o cálculo de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que pode ser correlacionado com áreas de vegetação saudáveis. Com isso foi produzida uma aeronave autônoma de alta precisão espacial que possibilita o embarque de diferentes soluções de sensoriamento por imagens sem a necessidade de pilotos altamente treinados para realizar as missões.

PALAVRAS-CHAVE: VANT, NDVI, Optical Flow, Câmera Multiespectral

ABSTRACT: This work shows the design and development of a totally autonomous quadrotor UAV (Unmanned Aerial Vehicle), for application

in remote sensing of green vegetation areas, capable of executing a takeoff, the flight and the landing without the need of a qualified pilot. The autonomous mission algorithms were developed in ROS (Robotic Operation System), which is an established and well-known framework for robotics development. An optical flow module was used with the GPS data to enhance the UAV geolocation estimation. The enhancement was around 56% in comparison with only the GPS module enabled. A georeferenced multispectral camera embedded into the aircraft is responsible to perform NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) measurements that can be correlated to healthy vegetation areas. Therefore, an autonomous vehicle was manufactured that permits embed different image sensors solutions without need a duly specialized pilot to perform the mission.

KEYWORDS: UAV, NDVI, Optical Flow, Multispectral Camera

1 | INTRODUÇÃO

Missões de monitoramento em ambientes vastos e de difícil acesso são responsáveis por dificuldades logísticas devido ao uso de equipes de monitoramento in loco. Por estas e outras razões, soluções com plataformas robóticas tais como o uso de VANTs (Veículos Aéreos Não-Tripulados) apresentam grandes vantagens econômicas (BLEM, 2013).

O sensoriamento remoto aéreo de uma determinada área pode ser realizado por sensores multiespectrais ou hiperspectrais embarcados em satélites. Embora, esta solução seja a mais viável para cobertura de uma grande área como a totalidade de um estado ou país, ela apresenta certas desvantagens como o custo elevado de aquisição de imagens, além de a área de cobertura estar disponível apenas em determinados períodos de tempo devido a órbita de cada satélite e a imprevisibilidade quanto as condições de aquisições de imagem devido a presença de cobertura de nuvens.

Uma outra opção seria possuir ou contratar uma aeronave tripulada com sensores embarcados para sobrevoar uma área de interesse em específico. Porém, o custo de aquisição ou aluguel desta aeronave, bem como a manutenção de uma tripulação devidamente qualificada é bastante proibitivo em certos casos.

Neste cenário, aplicações de sensoriamento remoto que utilizem VANTs apresentam soluções mais independentes das condições climáticas e mais versáteis em relação aos satélites, pois permite uma fácil readequação e upgrade dos sistemas sensores embarcados com menores custos quando comparados à aeronaves tripuladas e sistemas satélites.

Entre as diferentes arquiteturas de VANT's, podem ser citadas os de asa fixa, que permitem maior autonomia, e arquiteturas de multirotores, permitindo a operação denominada VTOL (Vertical Take-Off and Landing), isto é, a decolagem e aterrissagem vertical, reduzindo a área requerida para tais procedimentos. Além disto, este tipo de aeronave permite o voo em loiter, ou seja, que a aeronave mantém uma geoposição fixa.

Atualmente, os VANTs possuem diferentes níveis de autonomia. Algumas aeronaves são controladas por um operador através de uma estação de controle remoto utilizando link de rádio-frequência. Estes operadores devem ser devidamente treinados e em certos níveis certificados para executar as missões de forma segura, prevenindo possíveis acidentes que possam por em risco pessoas na vizinhança da área de voo, bem como evitando perdas econômicas e possíveis danos a aeronave.

A combinação de operação com controle remoto com automação computadorizada, permite conduzir missões semi-autônomas tais como voos em alvos predeterminados. Versões ainda mais sofisticadas permitem controle embarcados e/ou sistemas de estabelecimento e cálculo de rotas para alterações em missões em tempo real (MANUAL QGROUND CONTROL, 2016). Entretanto, apenas um pequeno grupo de sistemas de VANTs realizam operações de alta complexidade de forma totalmente autônoma, tais como procedimentos de decolagem que ao começar a missão próxima ao solo, apresentam um cenário de grande turbulência gerada pelas hélices e procedimentos de pouso, que necessitam acertar um ponto de aterrissagem e realizar a aproximação próxima ao solo utilizando diretivas de acordo com a missão pré-programada. Estes cenários necessitam realizar estas ações com controle suficientemente apurado. Estes últimos sistemas são denominadas VAANTs (Veículos Aéreos Autônomos Não-Tripulados).

Devido a estas potencialidades, o desenvolvimento de VAANTs pela equipe do LITel (Laboratório de Instrumentação e Telemetria) da UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora) com capacidade de carga suficiente para embarcar as soluções de monitoramento de áreas de vegetação verde, foi foco deste trabalho, utilizando um módulo de alta precisão de posição permitindo procedimentos de loitering, que irão facilitar a aquisição de imagens com maior qualidade pela câmera multiespectral embarcada e procedimentos de decolagem e aterrissagem autônomas através de algoritmos desenvolvidos pela equipe de trabalho em linguagem C rodando sobre a framework ROS (Robotic Operating System). O sensor multiespectral será responsável pelo cálculo de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que é um índice de qualidade da vegetação que fornece um cenário da situação de preservação e qualidade de áreas verdes.

2 | MODELO DINÂMICO DE VOO PARA UM QUADROTOR

A figura 1 mostra um esquema de orientação de um quadrotor do tipo X, onde a seta no centro identifica a frente da aeronave, esta identificação é importante para o controle pois evita ambiguidade nas decisões de manobras e rotas. As dinâmicas de manobra são baseadas na rotação sobre um dos três eixos ortogonais, onde as manobras ascendentes e descendentes são controladas pela rotação dos quatro motores. Os ângulos de rotação sobre os eixos são denominados pitch (Θ), roll (ϕ)

and yaw (ψ).

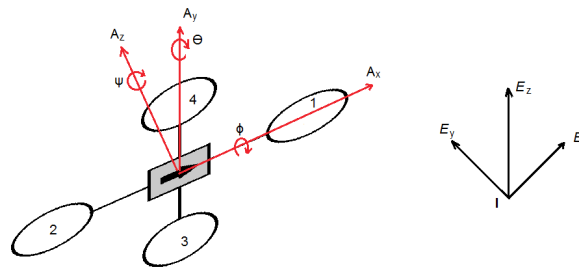


Figura 1 – Esquema de orientação de um quadrotor

Para garantir estabilidade, os motores 1 e 2 rotacionam em uma direção e os motores 3 e 4 na direção oposta. Esse arranjo é realizado para que os motores vizinhos cancelem entre si o torque, garantindo que aeronave não rotacione de forma descontrolada em torno de um eixo. Para aumentar ou diminuir a altitude basta aumentar ou diminuir o giro de cada motor. Neste exemplo, os motores 1 e 2 giram no sentido horário e os motores 3 e 4 no sentido anti-horário.

Para realizar o movimento para frente, é necessário o aumento de rotação no motor 2 e uma diminuição na rotação na mesma taxa do motor 1, ocasionando um giro no eixo Θ . A manobra para trás segue a mesma lógica. Para movimentar para direita, o motor 4 irá aumentar seu giro, ao mesmo tempo que o motor 3 irá diminuir seu giro na mesma taxa, ocasionando uma rotação no eixo ϕ , a movimentação para esquerda seguirá a mesma lógica. A rotação no sentido horário é realizada pelo aumento na rotação do motor 4 e diminuição na mesma taxa da rotação do motor 2, sendo a manobra no sentido anti-horário seguindo a mesma lógica ao produzir uma rotação no eixo ψ .

3 | DESIGN E MONTAGEM DO PROTÓTIPO VAANT

Um protótipo foi construído utilizando quatro motores brushless, resultando em uma aeronave comumente denominada como quadrotor. O quadrotor é um VANT de asa rotativa com várias vantagens em comparação com aeronaves de asa fixa, tais como melhor estabilidade nas ações de controle, possibilidade de loiter, isto é, de permanecer estável em uma geoposição durante o voo o que irá facilitar a aquisição de imagens pelas câmeras embarcadas com menos distorções.

Como arquitetura de frame para o VANT foi escolhida uma estrutura do tipo X com dinâmica de voo similar a descrita na seção anterior. As razões de escolha desta arquitetura é sua maior manobrabilidade, devido a todos as quatro hélices participarem da dinâmica de pitch e roll. Outro fator importante é que esta configuração evita hélices na frente da aeronave, permitindo que as imagens levantadas pelo módulo FPV (First Person Viewing), forneçam imagens similares a que um piloto dentro da aeronave teria, não sendo bloqueadas. A figura 2 mostra o design mecânico, no software

SolidWorks, e a imagem do protótipo de quadrotor produzido LITel da UFJF utilizados no monitoramento de vegetação por câmera multiespectral.

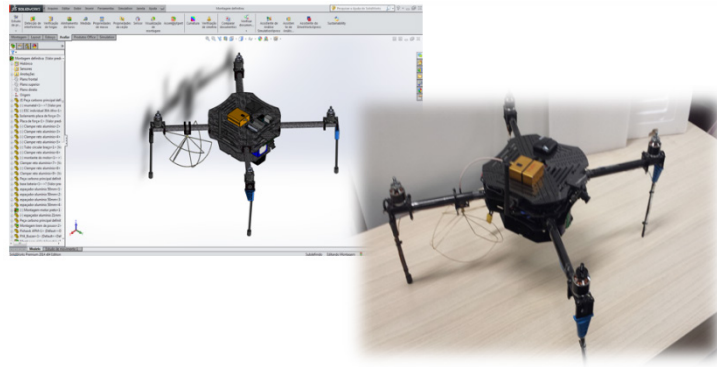


Figura 2 – Projeto mecânico do protótipo VANT montado no LITel.

Durante o estágio de prototipagem, o software realizou o cálculo do centro de gravidade (CG) da estrutura ficando este localizado no centro do protótipo para garantir estabilidade e precisão, bem como o cálculo de peso do protótipo que ficou em 1,4 kg. Estes dados foram importantes para o dimensionamento dos motores e para o cálculo de carga que o protótipo poderá carregar. Em adição, o trem de pouso foi projetado com altura suficiente para reduzir a probabilidade de dano aos periféricos da aeronave, bem como as hélices durante o pouso.

Para o design do protótipo o módulo de energia foi composto por uma bateria de três células, sendo a capacidade de 8400 mAh e uma descarga contínua de 40C, conectada a quatro módulos ESC (Electronic Speed Controllers). O protótipo, com todos os periféricos e a bateria pesam 2,1 kg e portanto o requerimento de carga para cada motor é de 525g o que irá consumir 6.7 A por motor. O consumo da unidade de controle e todos os periféricos é da ordem dos periféricos é de em torno de 600 mA, totalizando um consumo em voo de 27.4 A. A bateria neste design irá prover uma autonomia de aproximadamente 18 minutos e a taxa potência peso é de 5,78 W/g. Uma maior autonomia poderia ser alcançada com uso de bateria de 22 Ah ou com a utilização de baterias em paralelo.

Como objetivo de dotar o VANT com capacidade autônoma de seguir pontos pré-programados através de coordenadas geoposicionadas, e coordenar as ações da aeronave durante a missão, foi escolhida uma placa de controle de navegação chamada PIXHAWK. As características, modos de operação, diretivas de firmware para desenvolvedores e funcionalidades desta placa de controle se encontra bem documentada, sendo confiável e bem difundida na comunidade de desenvolvedores de VANTs. Além disso, possui sensores embarcados tais como acelerômetros, barômetros, giroscópios e magnetômetros no auxílio da navegação autônoma. Outra razão primordial na escolha por este sistema, é a capacidade de realizar processamento paralelo devido ao sistema embarcado UNIX, fazendo este possuir uma excelente

compatibilidade com os sistema multinós ROS.

O ROS é uma framework de desenvolvimento de plataformas robóticas que trabalha com uma arquitetura de nós que podem ser utilizados para representar além do próprio robô ou aeronave, as funcionalidades das mesma como sensores embarcados, módulos de navegação e etc. Além disso, provê uma infraestrutura de comunicação organizada entre estes nós através de tópicos e serviços. Tópico é uma forma de publicação contínua de dados por um nó e uma estrutura de serviços pode ser explicada como uma arquitetura de comunicação de cliente-servidor na rede ROS, isto é a publicação dos dados responde a uma requisição específica de um nó. A comunidade de desenvolvedores em ROS é bastante vasta e compartilha soluções de plataformas robóticas, incluindo pacotes que se comunicam com a PIXHAWK, através da modificação e reuso de pacotes construídos para a integração dos mais diversos componentes, plataformas e periféricos.

A equipe de pesquisadores do LITel desenvolveu rotinas em C++ para o controle automático do VANT, usando protocolos de comunicação MAVlink. O MAVlink é uma solução de comunicação suportada pelo ROS através do pacote denominado MAVROS. Este pacote foi utilizado e adaptado para atender aos requisitos de diretivas da missão para determinação de waypoints, isto é pontos de passagem da aeronave em voo, através leituras de GPS corrigidas para uma localização de alta precisão pelos módulos inerciais do VANT e pelo módulo de Optical Flow. Isto permitiu o cálculo dos procedimentos de aterrissagem de forma eficiente com a devida acurácia e segurança. O MAVROS permite a comunicação, envio e leitura de dados da PIXHAWK para determinação de ações de controle e automação da missão em tempo real.

A figura 3 mostra uma foto do protótipo construído no LITel, realizando uma missão totalmente autônoma nas imediações do laboratório.



Figura 3 – Voo autônomo de protótipo desenvolvido no LITel.

4 | MÓDULO OPTICAL FLOW PARA POSICIONAMENTO DE ALTA PRECISÃO

A técnica Optical Flow pode ser definida como movimento aparente dos padrões de intensidade de pixels em uma imagem. Sua operação baseia-se em ações de integração e diferenciação de padrões de movimento de pixels entre duas imagens subseqüentes. É importante notar que a aquisição e processamento de imagens devem levar em conta os custos computacionais de processamento, já que aplicações computacionais autônomas necessitam prover respostas rápidas ao movimento das plataformas robóticas, sendo ainda mais crucial em veículos aéreos não-tripulados.

Para possibilitar a unidade de processamento de imagens estimar a posição do VANT, é necessário programá-la levando em consideração as características de hardware do sensor de imagem tais como a distância focal da lente e sua curvatura, o campo de visão além do ângulo de rotação relativo a aeronave. Estes aspectos são levados em contas para o cálculo do movimento aparente de pixels pelo controlador de voo seguindo a equação (CORKE, 2011):

$$\begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\hat{f}/Z & 0 & u/Z & uv/\hat{f} & -(\hat{f} + u^2/\hat{f}) & v \\ 0 & -\hat{f}/Z & v/Z & \hat{f} + v^2/Z & -uv/\hat{f} & -u \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

sendo

$$u = \frac{\hat{f}}{\rho}x + u_0 \quad \mathbf{e} \quad v = \frac{\hat{f}}{\rho}y + v_0$$

onde (u,v) são as coordenadas de pixels na direção x e y , (u_0,v_0) são as coordenadas de pixels relativas ao ponto principal, que é a coordenda onde eixo óptico intercepta o plano imagem. O parâmetro \hat{f} é o foco normalizado da câmera relacionado ao tamanho de pixel ρ e $\Omega=(v_x, v_y, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z)$ é o vetor de velocidades que compreende as velocidades espaciais e angulares com relação aos eixos de coordenadas.

Neste projeto foi usado um módulo PX4FLOW que é um módulo sensor otimizado para atuar junto com a PIXHAWK para o cálculo do Optical Flow. Este módulo é equipado com uma câmera com resolução em pixels de 752x480 e uma distância focal de 16 mm com uma taxa de cálculo de Optical Flow de 400 Hz. O PX4FLOW é equipado com módulo de medidas inerciais (IMU) com o objetivo de reduzir ambigüidades no cálculo de movimento. O uso de módulos SONAR (Sound Navigation and Raging) ou LIDAR (Light Detection and Raging) podem ser utilizados para aumentar a precisão de operação, principalmente em cálculos de altitude de operação. Entretanto, devido a precisão de todas as etapas realizadas neste projeto e ao métodos de controle utilizados, o uso destes últimos módulos provou não ser

necessário.

Como pode ser visto na figura 4, ao somente utilizar o processamento da imagem por Optical Flow não é possível determinar quando o robô se move para baixo, na direção negativa no eixo z, ou se o plano terra está se movendo para cima, na direção positiva de z, ou se ocorrem ambos movimentos. Devido a esta ambiguidade, é necessário o uso de IMU precisamente calibrado de acordo com os sensores do controlador de voo.

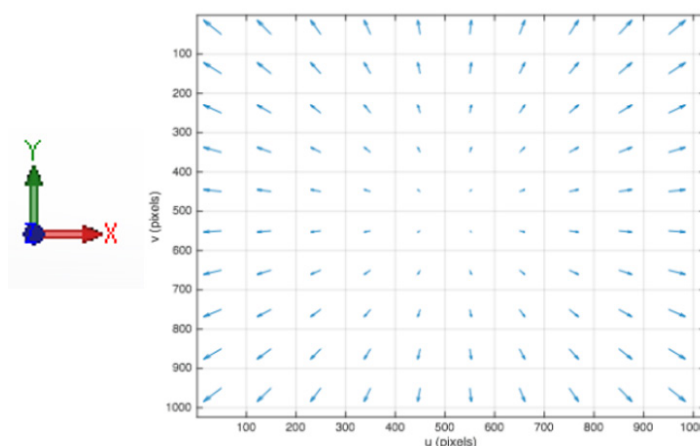


Figura 4 – Medida de Optical Flow indicando o decaimento da diferença entre o plano terra e a aeronave.

Portanto a velocidade na direção X e Y em relação ao sensor óptico pode ser estimada por imagens consecutivas usando a equação 1 e pode ser correlacionada com a posição do VANT.

Um ponto importante a ser notado sobre o Optical Flow está relacionado ao custo computacional para o processamento de imagem. Uma vez que as informações coletadas pela lente são numerosas e obtidas em frequências elevadas, o processamento computacional necessita ser suficientemente rápido para que a efetividade seja garantida ao evitar que decisões de controle e manobrabilidade ocorram com dados de posição desatualizados. Portanto, a camera embutida no PX4FLOW emprega baixa resolução, o que permite que os cálculos de Optical Flow ocorram, porém com imagens em resoluções bem inferiores aos de câmeras convencionais.

Apesar da baixa resolução da câmera da PX4FLOW não permitir a identificação mais detalhada de cores e certos detalhes da imagem conforme observa-se na figura 5, ela permite identificar texturas e formas em objetos permitindo o cálculo com devida acurácia do Optical Flow.



Figura 5 – Comparação entre a imagem adquirida pela câmera da PX4FLOW e uma câmera comercial de 8 MP.

5 | TESTES DE ERRO DE POSIÇÃO COM MÓDULO GPS + OPTICAL FLOW

Optical Flow é a distribuição das velocidades aparentes de padrões de brilho de uma imagem provenientes de movimentos relativos entre objetos e um observador, neste caso a câmera embutida na aeronave (PARAGIOS, 2005). O uso da técnica de Optical Flow através de técnicas de detecção, diferenciação e integração de imagens realizadas entre padrões de pixels em frames de imagens subsequentes é capaz de transmitir informações acerca da movimentação da aeronave, tais como velocidade, aceleração e direção, para uma unidade de recepção de dados (GAGEIK, 2013). Pesando estes dados com a informação de posição adquirida pelo módulo GPS, é possível reduzir o erro de posicionamento estimado para aeronave, melhorando as dinâmicas de controle para aeronave durante o voo e os procedimentos de aterrissagem autônomos. Ainda pode ser citado que em ambientes onde o sinal de GPS está deteriorado, como ambientes indoor por exemplo, o uso do Optical Flow pode estimar a posição da aeronave de forma eficiente (ZING, 2010).

O Optical Flow é um recurso que pode ser usado para o cálculo da posição utilizando diversos pesos na combinação com as leituras do GPS. Neste trabalho os pesos de ambos os módulos foram de 0,5 em uma escala de 0 a 1, sendo assim na estimativa os dados de GPS e do Optical flow foram considerados de mesma importância. As condições ambientais utilizadas no espaço livre foram das mais diversas em termos de vento e umidade do ar o que pode influenciar na medida do GPS. Entretanto, para o propósito de calibração da unidade PX4FLOW, o módulo de GPS foi desligado. As figuras 6 e 7 mostram os movimentos ao longo do eixo Y e X respectivamente.

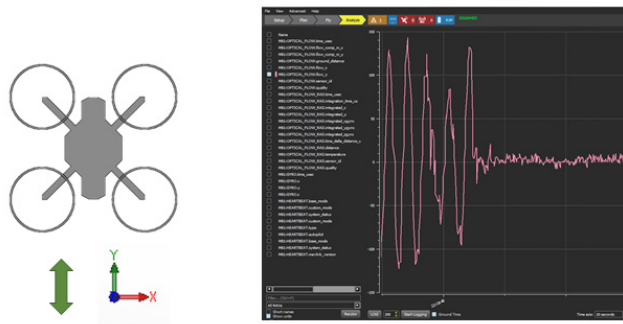


Figura 6 – Calibração da unidade PX4FLOW no eixo y.

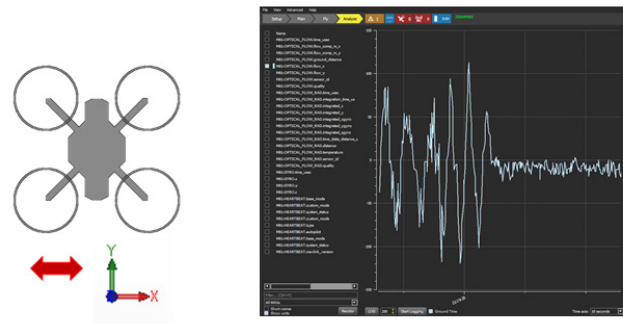


Figura 7 – Calibração da unidade PX4FLOW no eixo x.

Testes de precisão foram realizados utilizando o pouso apenas por GPS e pouso com módulo GPS + Optical Flow próximo as instalações do LITel. A figura 8 mostra as posições X e Y de pouso em centímetros distantes da posição de pouso ideal solicitada pelo controlador de voo e identificada na figura pelo marcador “estrela” com geoposicionamento de latitude e longitude 21,780 S e 43,380 W respectivamente. Os marcadores “X” foram as posições de pouso apenas com controle por GPS e os marcadores “O” foram as posições de pouso utilizando módulo GPS + Optical Flow.

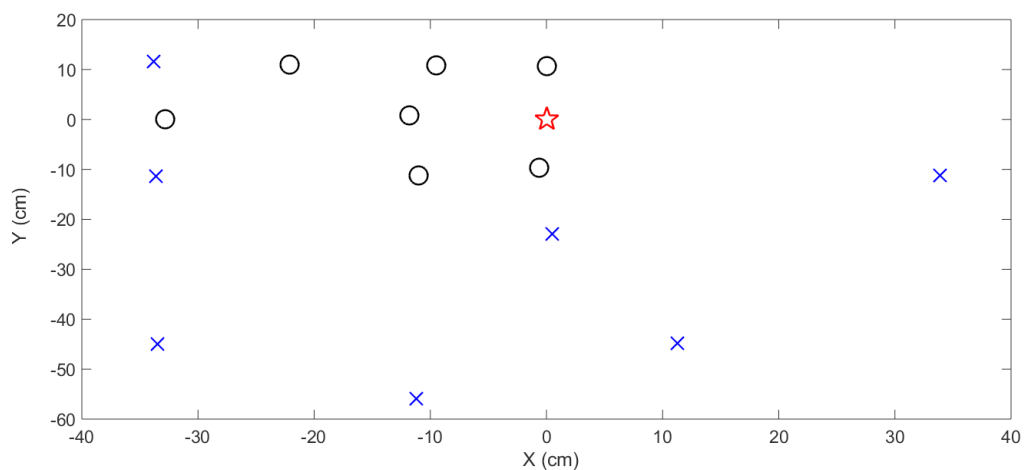


Figura 8 – Posição X e Y em centímetros para diferentes testes de pouso usando somente GPS (Marcadores “X”) e usando GPS+Optical Flow (marcadores “O”). Os marcadores em estrela indicam a posição desejada de pouso.

Depois de analisar os resultados, foi notado que a média do erro de posição para

o módulo GPS + Optical flow foi de 18 cm, contra um erro de 41,3 cm para o mesmo teste usando apenas o GPS indicando uma melhora de 56,4% ao usar um peso de 0,5 para cada módulo.

6 | ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E CÂMERA MULTIESPECTRAL

6.1 Índice de Vegetação de Diferença Normalizada

Proposto inicialmente por Rouse (ROUSE, 1973), mas popularizado por Tucker (TUCKER, 1979) o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) é reconhecido como o método padrão para a quantização da cobertura vegetal e crescimento de culturas agrícolas em uma determinada área (SULTANA, 2014). O NDVI pode ser calculado como uma relação entre a refletividade da área de interesse de medida no espectro infravermelho próximo (NIR – Near InfraRed) e no espectro do vermelho (R - Red) conforme a expressão abaixo (RABATEL, 2011):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

O NDVI é um índice sensível a cobertura de vegetação e as condições da mesma. Seus valores de medida variam de -1 a 1. Quanto mais positivo os valores de NDVI, maior a cobertura da vegetação e quanto maior os valores negativos, estes podem estar associados a superfícies e reservas de água. Conforme pode ser visto na figura 9, a assinatura da refletividade espectral de superfícies vegetais utilizando relação do espectro NIR com espectro R, possui aspecto bem diferenciado de outras superfícies de interesse. Importante ressaltar que para valores mais próximos da realidade deve ser realizada uma calibração em relação as condições atmosféricas, diminuindo a interferência e ruídos provocados pela dispersão da energia eletromagnética pelas partículas de água suspensas na atmosfera.

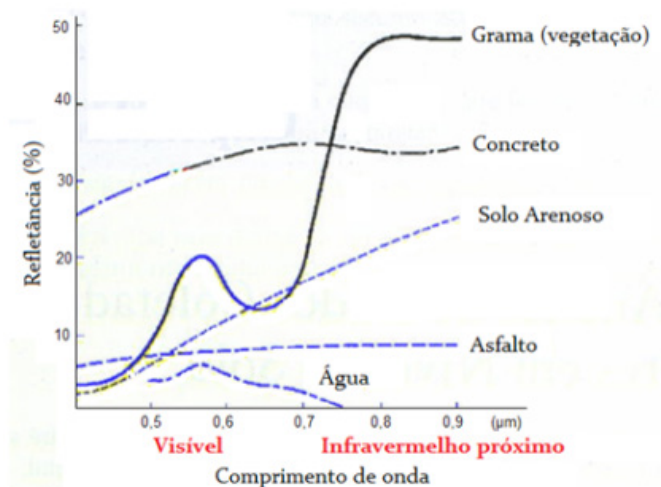


Figura 9 – Espectro de refletividade de diferentes superfícies.

O cálculo do índice NDVI tem bastante aplicabilidade no estudo da evolução

da área de cobertura vegetal. Por exemplo, a referência (NOVAS, 2008) traz a comparação do levantamento do NDVI no entorno da bacia do rio Traipu entre 1999 e 2006 conforme pode ser observado na figura 10.

As regiões em azul e vermelho tendem a indentificar mananciais de água e as áreas verdes mais escuras uma maior concentração de cobertura vegetal. Na figura 10, a região em 1999 possui uma cobertura vegetativa mais densa que em 2006, isso ocorre pois devido a construção da Usina Xingó na região ocorreu um impacto com o aumento da atividade agrícola durante os anos. É possível perceber pontos de mananciais de água onde antes apresentavam-se coberturas vegetais densas o que é um indicativo de açudes para produção agrícola.

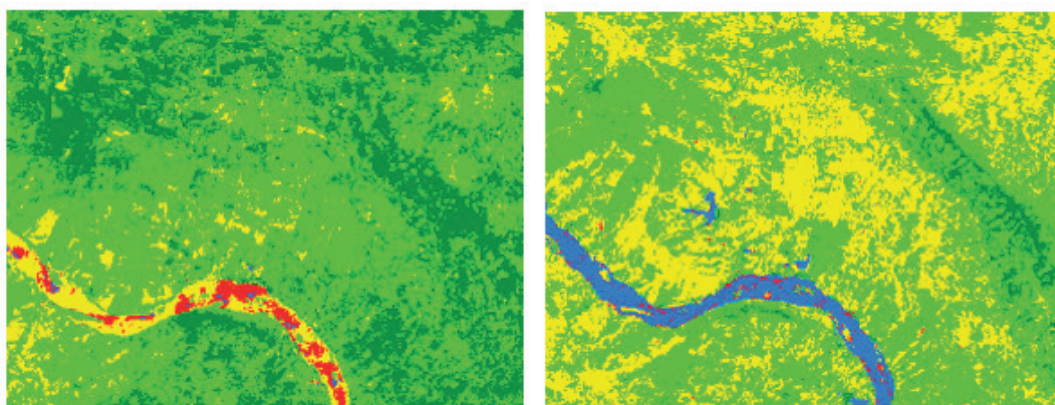


Figura 10 – NDVI medido ao sul da Bacia do rio Traipu-AL em 1999 e em 2006.

Fonte: (NOVAS, 2008)

A estimativa do NDVI nos permite adquirir informações importantes através do levantamento de imagens remotas. Desta forma, câmeras multiespectrais, trabalhando além do espectro do visível adicionando o espectro infravermelho para permitir o cálculo remoto do NDVI de áreas a serem monitoradas, são soluções de monitoramento bastante atrativas sendo embarcadas em VANTs para realizar esta ação com o maior custo benefício possível.

6.2 Câmera Multiespectral Embarcada no VANT

Neste trabalho, embarcamos uma câmera multiespectral no VANT desenvolvido no LITel para realizar levantamentos de NDVI de determinadas áreas no município de Juiz de Fora.

A câmera multiespectral a ser embarcada em VANTs necessita ser leve para não impactar no payload que a aeronave consegue carregar, ter baixo consumo para não diminuir a autonomia de voo ao exigir do módulo de bateria uma quantidade de carga substancial, ter integração com dados de GPS para armazenar imagens georeferenciadas e necessita trabalhar com espectro NIR e R para permitir o cálculo do NDVI. Para atender estas demandas foi escolhida uma câmera multiespectral da fabricante TETRACAM modelo ADC micro que pode ser vista na figura 11.



Figura 11 – Câmera Multiespectral TETRACAM ADC Micro.

Fonte: <http://www.tetracam.com/JPEGs/ADC%20MI1.jpg>

O modelo ADC Micro possui baixo consumo, em torno de 2W, sendo leve, em torno de 90g e possui integração com dados de GPS embarcados. Este modelo não possui bateria interna, sendo sua alimentação provida pela saída da bateria do VANT consumindo 1 A de corrente. Possui resolução espacial de 4 cm quando adquire imagens a alturas de 120 metros. Ela foi embarcada dentro do VANT com uso de um módulo gimbal, conforme pode ser visto na figura 12, que provê estabilidade para câmera para que mesmo com trepidações durante o voo ela permaneça estável para uma melhor aquisição das imagens.

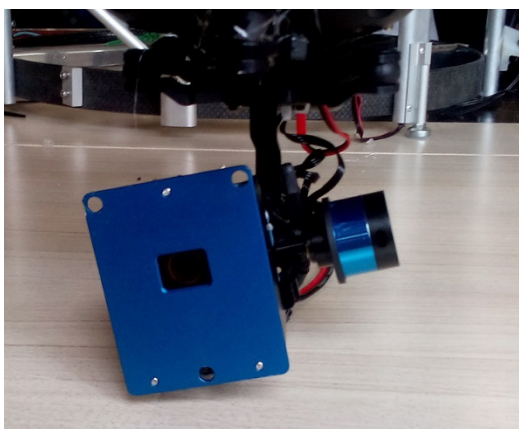


Figura 12 – Câmera Multiespectral embarcada no VANT fixada no gimbal.

A imagem fornecida pela câmera para visualização do operador é uma imagem denominada de falsa cor. Imagens visíveis são uma combinação das intensidades medidas no espectro vermelho (R - Red), verde (G - Green) e azul (B - Blue) o que determina a imagens de câmeras convencionais serem denominadas RGB.

A câmera multiespectral ADC Micro trabalha apenas com os espectros NIR, R e G. Sendo assim ao trabalhar com imagem em falsa cor é realizada uma composição de imagem na qual a intensidade medida no espectro NIR seja armazenada na matriz R, a intensidade medida no espectro R seja armazenada na matriz G e a intensidade medida no espectro G seja armazenada na matriz B. Assim, uma combinação RGB falsa é criada dando origem a imagens como encontradas na figura 12, onde as partes

da imagem com cobertura vegetal ficam com o tom bem distinguível na cor magenta.



Figura 12 – Imagem em falsa cor adquirida pela câmera multiespectral da TETRACAM.

Fonte: <http://www.tetracam.com/JPEGs/Produc57.jpg>

7 | RESULTADOS DE IMAGENS CAPTADAS PELA CÂMERA MULTIESPECTRAL

Foram realizados voos autônomos nas intermediações do Morro do Cristo (21,76o S; 43,34o W) no município de Juiz de Fora através de waypoints pré-determinados em uma configuração prévia a missão. As imagens adquiridas estavam georeferenciadas pelo módulo de GPS com erro de posição diminuído pela correlação com o módulo de Optical Flow para maior resolução espacial conforme descrito anteriormente nas seções 4 e 5. A escolha desta região foi devido a diversidade de áreas de mata verde cercaneadas por edificações. Foram levantadas imagens com câmeras comerciais de 16 MP e com a câmera multiespectral para determinar a eficiência na identificação de áreas verdes.

A figura 13 mostra a imagem RGB padrão aquisitada pela câmera comercial padrão embutida no VANT. As figuras 14 e 15 mostram a imagem em falsa cor e a paleta de NDVI medida para o mesmo cenário pela câmera Multiespectral que foi especificada na seção 6.

Analisando os resultados da figura 15 pode-se perceber que a imagem espectral foi capaz de detectar até concentração de árvores em meio a edificações. Foi levantado que na imagem adquirida, em torno de 20% da área apresenta uma cobertura vegetal densa com folhagens saudáveis. A vegetação rasteira detectada foi de em torno de dez por cento. Uma resposta vermelho intensa detectaria mananciais de água ou concentrações de poças de água devido a chuvas o que não ocorreu pois nenhum dos dois cenários é satisfeito nesta localidade e no dia de aquisição. A detecção de edificações ocorrem porém se encontra com assinatura espectral semelhante ao solo exposto para faixa de trabalho da câmera multiespectral.



Figura 13 – Imagem em RGB adquirida pela câmera de 16 MP no Morro do Cristo.

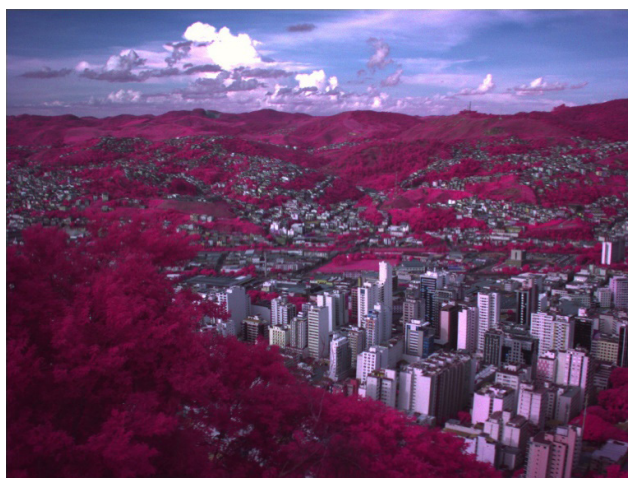


Figura 14 – Imagem em falsa cor adquirida pela câmera multiespectral no Morro do Cristo.

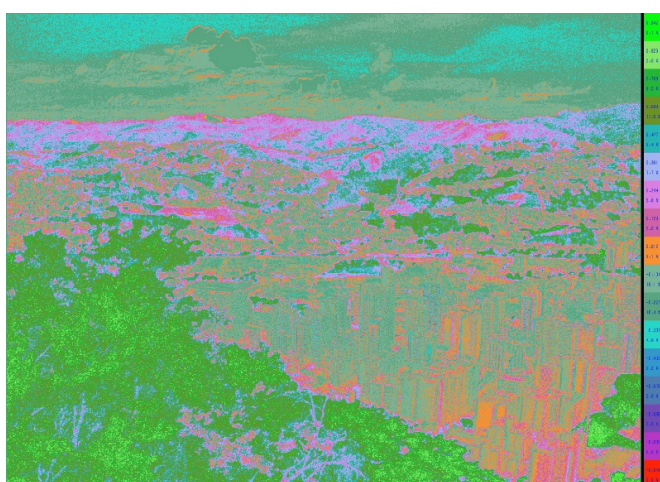


Figura 15 – Paleta de NDVI adquirida pela câmera multiespectral no Morro do Cristo.

Um outro cenário foi analisado no estacionamento localizado na lateral do laboratório em um dia de chuva com acúmulo de poças de água no asfalto. As figuras 16 e 17 mostram a imagem em falsa cor e o perfil de NDVI levantada pela câmera multiespectral do VANT.

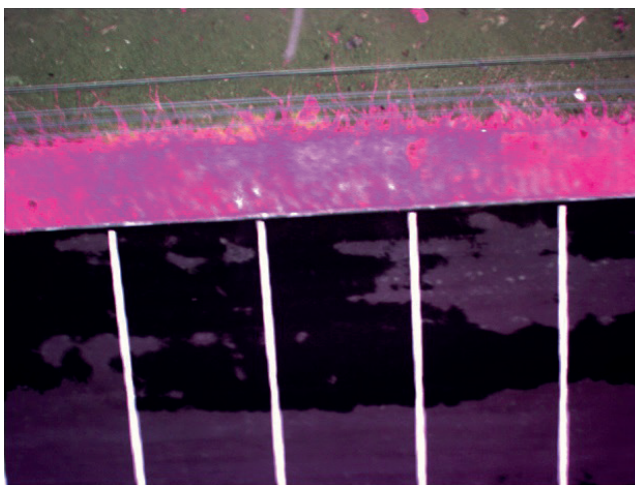


Figura 16 – Imagem em falsa cor adquirida pela câmera multiespectral no estacionamento em anexo ao LITel.

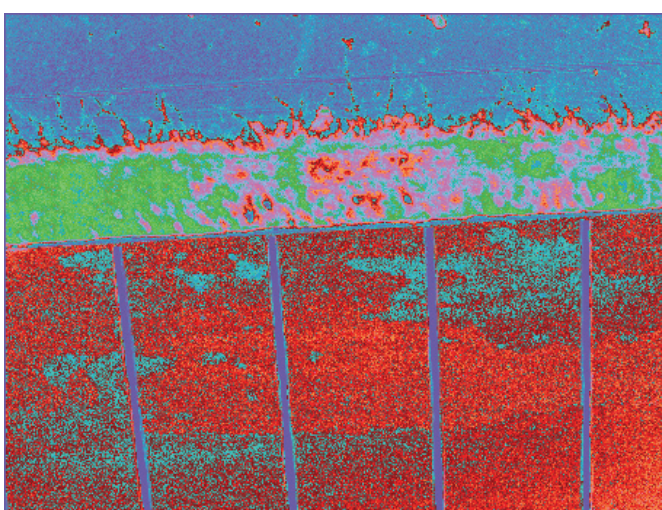


Figura 17 – Paleta de NDVI adquirida pela câmera multiespectral no estacionamento em anexo ao LITel.

Pode ser observado que as poças da água identificadas na figura 16 foram detectadas na figura 17, bem como a área desmatada acima da mata com pontos expostos também na área de vegetação. Pode ser observado que o asfalto seco possui mesma assinatura que a área descampada.

8 | CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou os procedimentos de design para a construção no LITel de um VAANT, veículo aéreo autônomo não-tripulado com procedimentos de voo, decolagem e aterrissagem totalmente autônomos, com o objetivo de embarcar uma câmera multiespectral georreferenciada para o levantamento do índice NDVI em uma determinada área.

Foi utilizado um módulo de estimação da posição pela correlação de dados do GPS junto com o algoritmo Optical Flow processado no módulo PX4FLOW, módulo este otimizado para operar com a PIXHAWK, que é a placa de controle de voo adotada

na montagem do protótipo. A melhora da estimativa de posição desta solução foi verificada em teste sendo em torno de 56% melhor em relação ao posicionamento apenas com o módulo de GPS habilitado.

A câmera multiespectral embarcada mostrou-se uma solução adequada por ser leve e de baixo consumo, levantando imagens georreferenciadas de alta precisão e conseguindo detectar o índice NDVI em alguns cenários testes de forma eficaz, além de detectar a presença de vegetação entre altas concentrações de edificações.

Em trabalhos futuros, este sistema VANT de inspeção será usado para o acompanhamento periódico de áreas de vegetação, importante em ações de preservação ambiental.

9 | AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer o apoio da UFJF, Fapemig, DUKE Energy - International Geração Paranapanema e Aneel.

REFERÊNCIAS

BLEM, E. **Power struggles: Revisiting the RISC vs. CISC debate on contemporary ARM and x86 architectures**, IEEE 19th International Symposium on High Performance Computer Architecture, 2013.

CORKE, P. **Robotics, Vision and Control – Fundamental Algorithms in MATLAB**. Capítulo 15, pp. 461, Springer, 2011.

GAGEIK, N.; STROHMEIER, M.; MONTENEGRO, S. **An Autonomous UAV with an Optical Flow Sensor for Positioning and Navigation**, International Journal of Advanced Robotics, vol. 10, 2013.

RABATEL, G.; GORRETA, N.; LABBÉ, S. **Getting NDVI Spectral Bands from a Single Standard RGB Digital Camera: A Methodological Approach**. Conference of the Spanish Association for Artificial Intelligence, CAEPIA 2011, vol. 7023, pp. 333-342, 2011.

MANUAL DO QGROUND CONTROL. Disponível em < http://qgroundcontrol.org/mavlink/waypoint_protocol > Acesso em maio de 2016.

NOVAS, M. F. B.; CRUZ, P. P. N.; SILVA, R.; DI PACE, F. T. **Análise da Variação dos Índices de Vegetação Estimados por Sensoriamento Remoto em Dois Períodos ao Sul da Bacia do Rio Traipu-AL**. II Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologia da Geoinformação, Recife, 2008

PARAGIOS, N.; CHEN, Y.; FAUGERAS, O. **Mathematical Models in Computer Vision**. Capítulo 15, pp. 239-258, Springer, 2005.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, vol. 1, pp. 309-317, 1973.

SULTANA, S. R.; ALI, A.; AHMAD, A.; MUBEEN, M.; ZIA-UL-HAQ, M.; AHMAD, S.; ERCISLI, S.; JAAFAR, H. Z. E. **Normalized Difference Vegetation Index as a Tool for Wheat Yield Estimation: A Case Study from Faisalabad, Pakistan**. The Scientific World Journal, 2014.

TUCKER, C. J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Remote Sensing of Environment, vol. 8, pp. 127-150, 1979.

ZING, S.; SCARAMUZZA, D.; WEISS, S.; SIEGWART, R. **MAV Navigation through Indoor Corridors Using Optical Flow**, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais-CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-85107-48-2



9 788585 107482