

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

*Development of a High precision and totally autonomous quadrotor  
UAV applied in vegetation remote sensing based in georeferenced  
multispectral camera*

**T. V. N. Coelho, L. Moraes, R. F. Campos, L. C. Carmo Jr., L. S. Moreira,  
D. D. Silveira, A. L. M. Marcato, A. B. dos Santos**

**Universidade Federal de Juiz de Fora**

**Faculdade de Engenharia**

**Juiz de Fora – MG, Brasil**

**thiago.coelho@ufjf.edu.br, alexandre.bessa@ufjf.edu.br**

**F. Pancera, I. T. Toyama**

**Duke Energy**

**Geração Paranapanema Chavantes - SP**

### **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

**Anais do COBRAC 2016 - Florianópolis –SC – Brasil - UFSC – de 16 à 20 de outubro 2016**

## 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 sofisticados 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 ( $\Theta$ ), roll ( $\phi$ ) and yaw ( $\psi$ ).

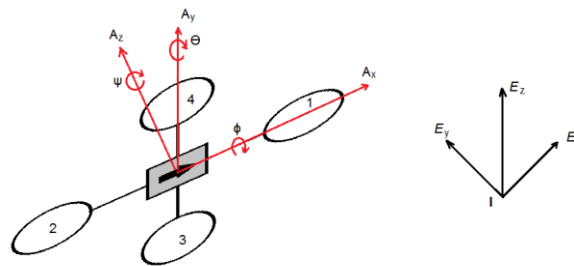


Figura 1 – Esquema de orientação de um quadrotor

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  $\Theta$ . 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  $\phi$ , 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  $\psi$ .

## 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 *loitter*, 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.

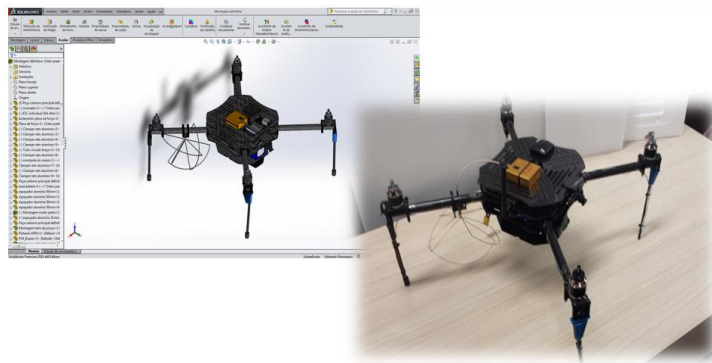


Figura 2 – Projeto mecânico do protótipo VANT montado no LITel.

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

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

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  $\rho$  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 ambigüidade, é necessário o uso de IMU precisamente calibrado de acordo com os sensores do controlador de voo.

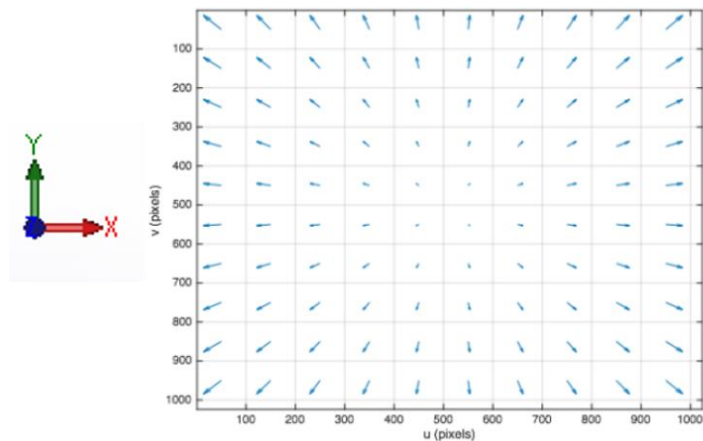


Figura 4 – Medida de Optical Flow indicando o decaimento da diferença entre o plano terra e a aeronave.

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.

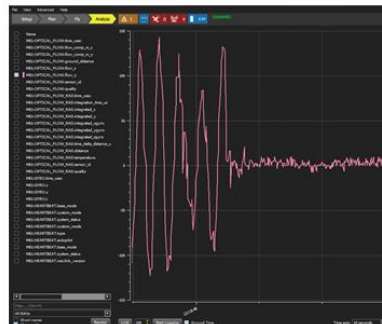
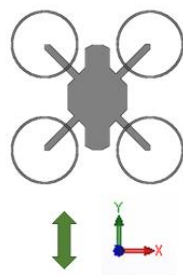


Figura 6 – Calibração da unidade PX4FLOW no eixo y.

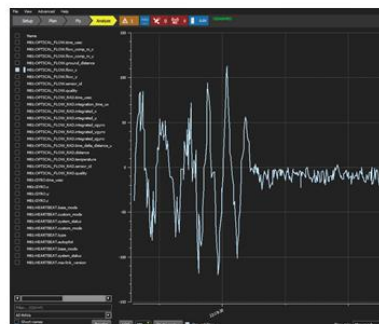
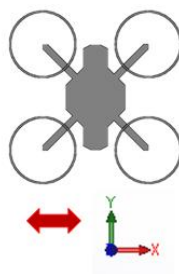


Figura 7 – Calibração da unidade PX4FLOW no eixo x.

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 21,78° S e 43,38° 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.

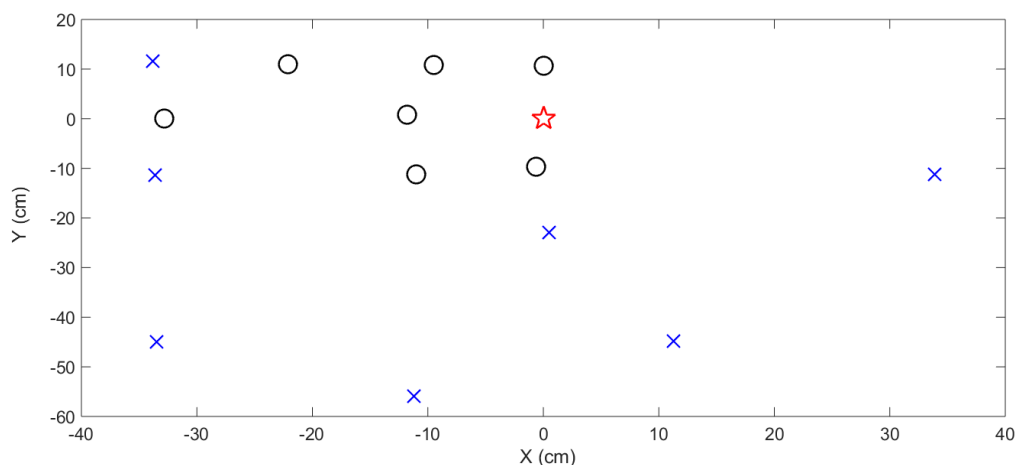


Figura 8 – Posição X e Y em centímetros para diferentes testes de pouso usando somente GPS (Marcadores “X”) e usando GPS+Optical Flow (marcadores “O”). Os marcadores em estrela indicam a posição desejada de pouso.

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.

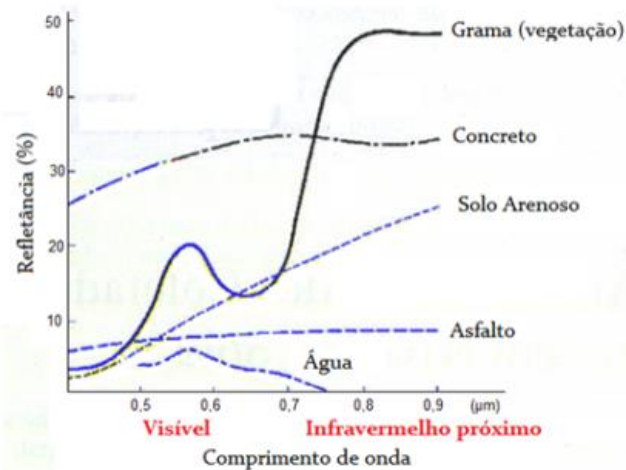


Figura 9 – Espectro de refletividade de diferentes superfícies.

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.

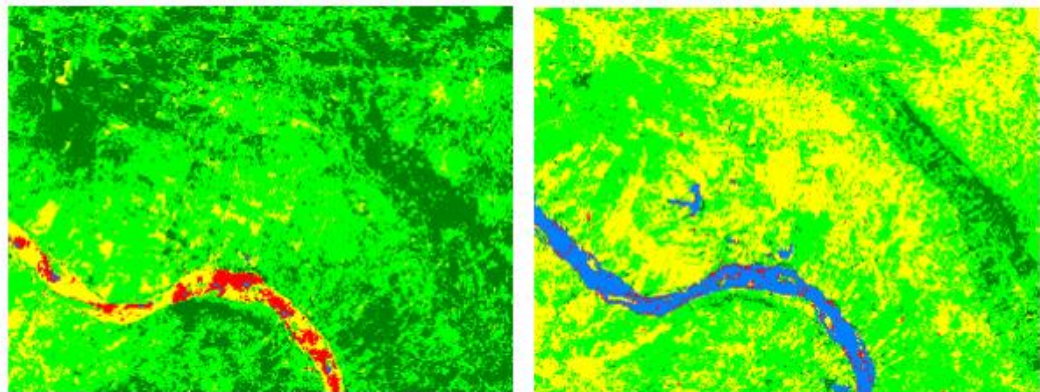


Figura 10 – NDVI medido ao sul da Bacia do rio Traipu-AL em 1999 e em 2006.  
Anais do COBRAC 2016 - Florianópolis –SC – Brasil - UFSC – de 16 à 20 de outubro 2016

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.

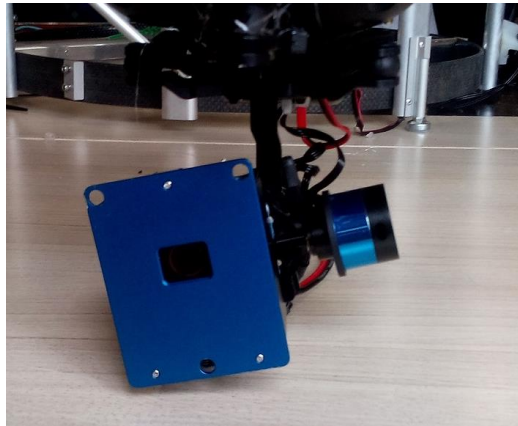


Figura 12 – Câmera Multiespectral embarcada no VANT fixada no gimbal.

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 as 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 (21,76° S; 43,34° 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 adquirida 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.



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.

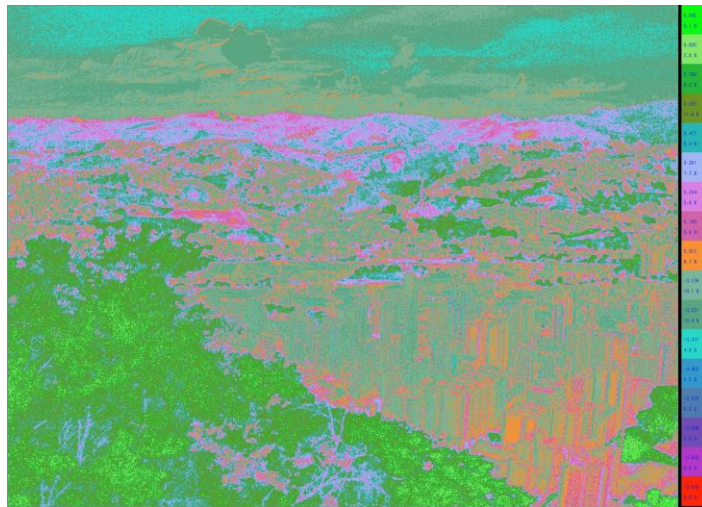


Figura 15 – Paleta de NDVI adquirida pela câmera multiespectral no Morro do Cristo.

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.

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.

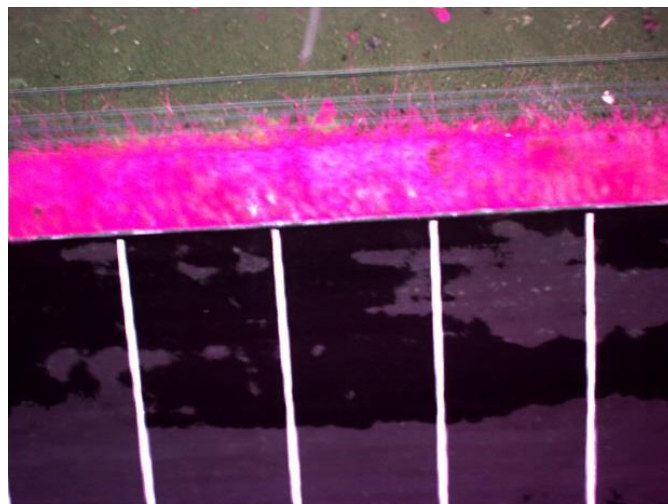


Figura 16 – Imagem em falsa cor adquirida pela câmera multiespectral no estacionamento em anexo ao LITel.

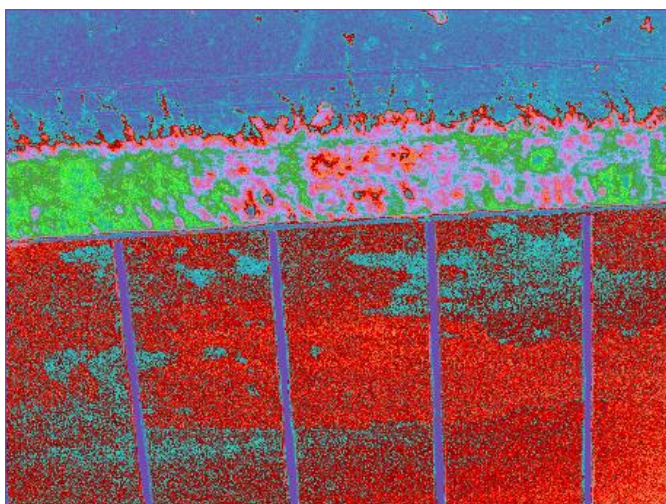


Figura 17 – Paleta de NDVI adquirida pela câmera multiespectral no estacionamento em anexo ao LITel.

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.

## Agradecimentos

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

## Referências Bibliográficas

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 QGGROUND CONTROL**. Disponível em < [http://qgroundcontrol.org/mavlink/waypoint\\_protocol](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.