

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MICRO VANTS EM AEROLEVANTAMENTOS DE ALTA RESOLUÇÃO

Alexandre Moreno Richwin Ferreira

Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, Brasil –
moreno.rferreira@gmail.com

Orientador: Msc. Giuliano Santa`Anna Marotta

Palavras chave: VANT, UAV, aerofotogrametria, sensoriamento remoto

Abstract:

In the last decade the use of UAVs in the world increased considerably both for military and for civilian applications. This paper presents an overview of UAVs and discusses the use of small UAVs to carry out airborne.

The paper describes the operation of a multicopter Rotary wing vehicle and its applications in remote sensing. It discusses the advantages and disadvantages of using these platforms, and its applications in areas such as urban planning and precision agriculture.

At the end of the paper it's presented different ways to create georeferenced mosaics from images taken with this vehicle and a low cost sensor.

Resumo:

Na última década o uso de VANTS no mundo aumentou consideravelmente tanto para aplicações militares como para aplicações civis. Este trabalho apresenta uma visão geral dos VANTS e discute o uso de VANTS de pequeno porte para a realização de aerolevantamentos.

O trabalho descreve o funcionamento de um veículo multicopter de asa rotativa e suas aplicações na área de sensoriamento remoto. São discutidas as vantagens e desvantagens do uso destas plataformas bem como as aplicações em diversas áreas como planejamento urbano e agricultura de precisão.

Ao final do trabalho são apresentadas diferentes maneiras para criação de mosaicos georreferenciados a partir de imagens obtidas com este veículo e um sensor de baixo custo.

1. Introdução

1.1. Veículos Autônomos Não Tripulados - VANTs

O termo Veículo Autônomo Não Tripulado (VANT) utilizado no Brasil é uma adaptação do termo em inglês Unmanned Aerial Vehicle (UAV) e se refere a qualquer veículo que possa voar e ser controlado sem a necessidade de uma pessoa a bordo (Eisenbeiss, 2004). Isso inclui pequenos aviões e helicópteros rádio controlados até foguetes e aviões capazes de voar durante 30 horas ininterruptas, como é o caso do VANT americano Global Hawk (figura 1.1.1).



Figura 1.1.1 VANT Global Hawk da NorthropGrumman (Fonte:

<http://www.as.northropgrumman.com/products/ghrq4b/gallery.html>)

De maneira geral, os maiores usuários e desenvolvedores de VANTs são as forças armadas dos países, que os utilizam em missões de reconhecimento e inteligência e mais recentemente em missões de ataque. O Exército Brasileiro já

desenvolve VANTs de pequeno porte para missões de reconhecimento. As primeiras missões do Exército Brasileiro com os VANTs ocorreram na missão de paz do Haiti, onde os VANTs foram utilizados para sobrevoar a favela de Citè Soleil em Porto Príncipe, capital do Haiti.

O uso dos VANTs em aplicações civis está crescendo rapidamente principalmente devido à versatilidade desses equipamentos em diversas situações e ao sucesso que esses veículos vêm obtendo em suas missões. Além disso, o fato de não haver um piloto a bordo da aeronave diminui os riscos de acidentes envolvendo vítimas.

Para a Comunidade Internacional de Sistemas para Veículos Não Tripulados (UVS International Community), existem cinco categorias de VANTs (tabela 1.1): Micro, Mini, Curto Alcance, Médio Alcance e Grande Altitude/Longa Duração.

Tabela 1.1.1 Categoria de VANTs de acordo com UVS International

Categoria	Peso (Kg)	Raio de operação (Km)	Altitude (m)	Duração (horas)
Micro	<5	<10	250	1
Mini	<25/30/150	<10	150/250/300	<2
Curto Alcance	25 - 150	10 - 30	3000	2 - 4

e				
Médio Alcance	50 -250	30 - 70	3000	3 - 6
Grande Altitude e Longa Duração	>250	> 70	>3000	> 6

Fonte: adaptado de Eisenbeiss, 2004

Não existe um consenso sobre as categorias de VANTs e nem sobre quais aspectos devem ser considerados para classificá-los. Cada país ou organização classifica os VANTs da maneira que acha melhor. Outro ponto obscuro na temática dos VANTs está na questão legal de seu uso. Não existe nenhuma organização internacional que regulamente sua utilização e a legislação dos países, mesmo os países que já utilizam os VANTs há mais tempo, como os Estados Unidos da América, ainda não regula de forma clara a utilização civil dessas plataformas.

Além das diversas aplicações militares nos últimos anos o uso dessas plataformas em aplicações civis está ficando cada vez mais diversificado. Para Sarris (2001), alguns dos possíveis usos civis dos VANTs são o patrulhamento de fronteiras, sensoriamento remoto, detecção e monitoramento de queimadas, auxílio em situações de emergência e desastre, monitoramento de estruturas

lineares como gasodutos e linhas de transmissão, pesquisa e monitoramento ambiental e segurança pública.

O mercado de VANTs está em ascensão no mundo todo. Segundo estudo realizado em 2010 pelo *Teal Group Corporation*, empresa americana de consultoria no ramo aeroespacial e de defesa, a estimativa é que os gastos com VANTs serão mais que duplicados na próxima década. Ainda de acordo com o estudo, anualmente o mercado de VANTs movimenta cerca de 4,9 bilhões de dólares e nos próximos dez anos esse número deverá chegar na casa dos 11,5 bilhões de dólares por ano.

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso de micro VANTs em levantamentos aerofotogramétricos de alta resolução espacial e temporal em pequenas áreas como alternativa aos satélites e aviões tripulados.

2. Materiais e Métodos

A primeira parte deste capítulo apresenta os materiais e ferramentas utilizados no projeto, desde a parte dos sistemas do Veículo Autônomo Não-Tripulado (VANT) até os programas computacionais utilizados no pós-processamento dos dados.

2.1. VANT

Para a realização deste trabalho optou-se por um VANT da categoria micro, de baixo custo e com código aberto. O modelo foi desenvolvido pela empresa alemã Mikrokopter, fundada em 2006 por dois engenheiros, e rapidamente ganhou uma grande comunidade de usuários e colaboradores (Mikrokopter, 2011).

O modelo escolhido foi o Hexakopter (figura 2.1.1) de asa rotativa, capaz de realizar pousos e decolagens na vertical com um estilo de vôo muito semelhante ao de um helicóptero convencional.



Figura 2.1.2 Hexakopter utilizado para estudos em aplicações de aerolevamento

O modelo possui seis braços com motores nas pontas, dispostos em formato de asterisco ao redor de um quadro circular. A mecânica do aparelho é simples, já que os conjuntos de rotores/hélices são fixados diretamente nos eixos dos

motores, dispensando o uso de complexas engrenagens como acontece em sistemas com um rotor ou sistemas coaxiais.

A principal vantagem dos sistemas multirrotores e rotores coaxiais sobre os sistemas de um rotor é que toda a força desenvolvida pelos motores é utilizada para gerar sustentação da aeronave, enquanto aeronaves de asa rotativa com rotor simples necessitam transferir potência para o rotor de cauda, responsável por manter a aeronave no prumo e contrabalancear o torque do motor sobre o eixo vertical da aeronave (Eisenbeiss, 2009).

Diversas configurações podem ser criadas com plataformas multirrotores, sendo que a forma final é definida de acordo com o número de motores usados e a disposição dos mesmos. A figura a seguir apresenta algumas configurações possíveis com a placa controladora da Mikrokopter.

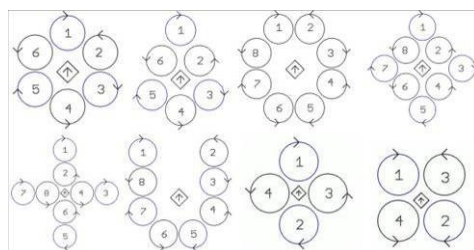


Figura 2.1.2 Exemplos de configurações multirrotores (Mikrokopter Tool, 2011, adaptado)

Para conseguir realizar um voo controlado, as hélices dos multirrotores giram em dois sentidos diferentes: horário e anti-horário. Desta forma o torque de um motor anula o torque de outro motor garantindo a estabilidade no eixo vertical.

Cada motor possui um sentido de rotação definido e um endereçamento na placa de controle de voo, que ao alterar a velocidade de rotação de forma coordenada consegue manobrar a aeronave. Por exemplo: para deslocar a aeronave para frente a placa de controle diminui levemente a rotação dos motores dianteiros e aumenta a dos motores traseiros, inclinando levemente a aeronave e alterando o vetor de empuxo da mesma.

Para movimentos laterais o funcionamento é o mesmo: aumenta-se a velocidade de rotação dos motores opostos ao sentido que se deseja seguir, e diminui-se levemente a rotação dos motores que estão naquele sentido. Desta maneira é possível alterar o vetor de empuxo sem alterar a altitude da aeronave.

Para movimentos sobre o eixo vertical, a placa altera a velocidade de rotação entre os grupos que giram no sentido horário e anti-horário, removendo o equilíbrio

entre o torque dos motores e fazendo a aeronave girar no próprio eixo. Por exemplo: diminuindo a velocidade dos motores no sentido horário e aumentando a dos motores no sentido anti-horário a aeronave irá girar no sentido horário, já que o torque nos dois sentidos será diferente.

Os componentes básicos para montagem de um Hexakopter são: seis motores elétricos sem escova, seis braços de alumínio, três pares de hélices com sentidos de rotação opostos, seis controladores de motor elétrico e uma placa de circuito integrado para controle de voo (*Flight Control*).



Figura 2.1.1 Placa de controle de voo V1.3 (Mikrokopter, 2011)

O núcleo de processamento da placa de controle de voo consiste de um Atmel ATMEGA644@20MHz, de 8 bits (Mikrokopter, 2011). Para manter a estabilidade do voo a placa necessita de sensores que forneçam dados sobre inclinação, deslocamento e altitude.

Para isso, a *Flight Control* possui giroscópios e acelerômetros que medem a velocidade angular e o deslocamento do centro de gravidade da aeronave nos três eixos (X, Y e Z).

Para calcular a inclinação da aeronave, os giroscópios utilizam o efeito de Coriolis para medir a velocidade angular (Forhan, 2010), que é então convertida em uma tensão proporcional que pode ser entendida pela placa de controle de voo.

Os giroscópios usados pela Mikrokopter são fabricados pela empresa Murata, modelo ENC-03R (versão SMD). Os giroscópios são construídos com tecnologia de sistemas microeletromecânicos (MEMS - *Micro-Electro-Mechanical Systems*, em inglês). As características técnicas são apresentadas na tabela 2.1.1.

Tabela 2.1.1 – Características técnicas dos giroscópios Murata

Identificador global	ENC-03R
Voltagem de alimentação	2.7 até 5.25 VDC
Consumo de corrente (máx.)	1.6mA
Velocidade angular máx.	+ / -300graus/sec.
Saída com velocidade angular = 0	1.35Vdc
Fator de escala	0.67mV/deg./s ec.
Coefficiente de temperatura do fator de escala	+ / -20% entre -5 e +75 ° C
Linearidade	+ / -5% FS
Resposta (máx.)	50Hz
Nível de ruído (máx.)	20mVp-p

Temperatura mín. de operação	-5 ° C
Temperatura máx. de operação	75 ° C
Peso (g) (máx.)	0.2g

Fonte: adaptado de Mikrokopter, 2011

Além dos giroscópios a placa de controle utiliza acelerômetros nos três eixos para medição do deslocamento do centro de massa. O modelo utilizado é o LIS344ALH produzido pela em STMicroelectronics (www.st.com).

Completando a lista de sensores presentes na *Flight Control* está o barômetro, utilizado para controlar a altitude do VANT. Para isso o sensor mede a pressão atmosférica do ar em quilopascal (kPa) e converte em uma saída de tensão corrente contínua inversamente proporcional à pressão.

Para calcular a altitude relativa ao nível do mar (em metros) a partir dos dados de pressão atmosférica, a placa controladora utiliza a fórmula de altura (Mikrokopter, 2011):

$$P(h)[kPa] = 101.325 \text{ kPa} * \text{EXP}(-1.29 \text{ kg/m}^3 * 9.81\text{m/s}^2 * h[\text{m}] / 101.325\text{kPa} / 1000)$$

O sensor utilizado no Hexakopter é produzido pela empresa Freescale Semiconductor, modelo MPX4115.

Com esses sensores soldados na placa de controle de voo e o quadro montado já é possível realizar um voo controlado por um rádio. Porém para realizar um voo autônomo o VANT necessita de informações complementares sobre sua posição. Para isso outra placa de circuitos integrados é utilizada: a placa de navegação, que no caso da Mikrokopter é chamada de NaviCtrl.



Figura 2.1.2 Placa de controle de navegação NaviCtrl V2 (Mikrokopter, 2011)

Essa placa dá novas funções ao Hexakopter, como navegar por meio de pontos definidos, manter a posição e voltar ao ponto de decolagem. Para isso a placa necessita de sensores específicos.

A NaviCtrl é ligada a um receptor GPS e uma bússola de três eixos que coletam informações sobre a localização e a orientação do VANT no espaço. Essas informações são processadas pela placa de navegação que se

comunica com a placa de controle de voo para que realize os ajustes necessários nos motores.

O modelo de GPS utilizado na placa de navegação é o LEA-6S com antena passiva, produzido pela empresa U-BLOX. O receptor foi inserido em um escudo de fibra de vidro, aumentando a área de superfície do receptor e protegendo a antena de interferência eletromagnética gerada por outros componentes eletrônicos. Não foram encontradas especificações técnicas sobre o receptor GPS.

A bússola, MK3Mag, é soldada diretamente na placa de navegação, e deve ser calibrada para “ensinar” as direções de acordo com os valores obtidos pelo sensor.

A bússola, assim como o receptor GPS, precisa estar bem isolada para evitar interferências no campo magnético que causam leituras erradas e confundem a placa. Os principais geradores de interferência na aeronave são: alerta sonoro, motores, cabos de alimentação e partes de metal (Mikrokopter, 2011). Para diminuir possíveis interferências o VANT foi construído usando parafusos de plástico.

A placa de navegação possibilita também criar um registro com todos os dados de vôo em um

cartão *microSD*. A placa cria um registro por segundo armazenando dados como as coordenadas (X,Y), altura, inclinação da aeronave e ângulo da bússola.

Cada voo é registrado em dois arquivos de formatos diferentes: *Keyhole Markup Language* (.kml) e *GPSeXchange Format* (.gpx). Existem diversos programas de computador que podem ler e compreender esses arquivos, como GPS Trackmaker, Google Earth e MapSource. A figura 2.1.3 mostra o registro de voo visualizado no Google Earth e MK GPX.



Figura 2.1.2 Visualização do registro de voo em dois programas gratuitos

Todos esses dados podem ser utilizados no processo de correção das imagens ou de georreferenciamento. Caso seja identificado um problema em alguma imagem, o registro de voo

poderá ter alguma pista do que ocasionou o problema.

Para ser capaz de voar, o Hexakopter necessita de um controle remoto via rádio. O sistema de rádio-controle é composto por um transmissor que fica nas mãos do piloto e de um receptor a bordo do VANT.

Na configuração usada neste trabalho o sistema de rádio-controle usado foi um convencional para aeromodelos, vendido em lojas especializadas. O sistema utiliza ondas de rádio na frequência de 2,4GHz para enviar comandos ao receptor. O modelo utilizado possui sete canais de comando, dos quais quatro são usados na navegação da aeronave, um para controle de altura, um para controle de modo de voo (livre, manter posição, voar para as coordenadas e voltar para casa) e outro para disparar a máquina.

Em testes realizados pelo autor com modelos de asa fixa o rádio manteve sinal em distâncias próximas a 1500 metros, muito além das necessidades para este projeto.

A qualquer momento, o operador deve ser capaz de cancelar as ações sendo executadas pela aeronave e assumir o controle. Em caso de perda de contato com a fonte do

signal o VANT automaticamente inicia um procedimento de segurança para tentar restabelecer contato com o sinal do transmissor do rádio.

Ao identificar a perda de sinal, a aeronave se mantém nas coordenadas e altura do último sinal de rádio recebido por um tempo pré estabelecido pelo operador de voo durante a configuração da aeronave. Após esse período, inicia uma subida até uma altura definida e retorna para a coordenada onde foram iniciados os motores. Caso o contato do rádio seja restabelecido o piloto reassume imediatamente. Caso isso não aconteça o VANT irá automaticamente iniciar uma descida lenta até encontrar o chão, onde desliga os motores.

A próxima parte deste trabalho trata das características do sensor utilizado para realizar o levantamento aéreo, assim como do sistema inercial e configuração de disparo.

2.2. O sensor

Ao trabalhar com aeronaves é necessário manter a atenção no peso dos equipamentos que se leva a bordo, principalmente no caso de aeronaves que usam motores elétricos.

De forma geral, assim como nos automóveis atuais, os VANTs com motores a combustão possuem maior autonomia e capacidade de carga do que aqueles que utilizam motores elétricos. A relação entre energia armazenada e peso ainda é muito superior nos combustíveis líquidos se comparado ao das baterias.

Considerando isso, o sensor escolhido para capturar as imagens durante os voos foi uma câmera digital convencional de baixo custo. Se comparada com os sensores utilizados atualmente em aviões tripulados para fins de mapeamento e fotogrametria o custo é muito inferior.

O modelo de câmera utilizado neste trabalho foi uma Canon SD1200 compacta com estabilizador ótico de imagem. A câmera é capaz de tirar fotos de 10 megapixels e armazená-las em formato compactado JPEG em um cartão de memória SD.

Tabela 2.2.1 Especificações técnicas da câmera Canon SD1200

Tipo	Compacta
Resolução máxima	3648 x 2736
Pixels efetivos	10 megapixels
Tamanho do sensor	6,17 x 4,55 mm
Tipo de sensor	CCD
Distância focal (equivalente)	35 - 105mm
Dimensões	86 x 55 x 22 mm

Peso	160 g
-------------	-------

Para a captura das imagens foi realizada uma pequena adaptação na câmera para possibilitar o acionamento do botão de disparo a distância. Para isso, um pequeno servo de nove gramas foi fixado na parte superior da câmera e ligado a uma saída de 3v da placa controladora de voo. Dessa maneira o servo pode ser acionado pelo operador de voo a partir de uma chave no controle remoto. Ao ser acionado, o servo movimenta um pequeno braço de plástico que aciona o disparador da câmera.

A abertura e a velocidade de disparo de cada foto foram determinadas pelo modo inteligente da câmera, que analisa as condições do ambiente e tenta escolher a melhor configuração para o disparo. Esse modo se apresentou muito útil devido à dificuldade de saber exatamente a velocidade do VANT em relação ao solo no momento de cada foto.

O ideal seria poder manter o veículo aéreo parado no momento da imagem, porém é praticamente impossível já que existem fatores como vento e variação no sinal do receptor GPS que interferem no voo.

Para realizar manobras, aeronaves multirrotores necessitam

inclinando seu corpo para alterar o vetor de empuxo e ganhar movimento direcional. A inclinação da câmera no momento de captura das imagens gera distorções nas mesmas, dificultando o trabalho de mosaicação e ortorectificação.

Com o intuito de amenizar esses efeitos foi desenvolvido um sistema inercial de dois eixos (X,Y) na parte inferior do VANT. O sistema consiste de duas plataformas móveis, cada uma com um servo digital de alta velocidade movimentado-a em um eixo específico.

A placa controladora de voo controla o movimento de cada servo de acordo com os valores de inclinação obtidos nos giroscópios. Portanto, se a aeronave se inclina para um lado, o servo responsável por compensar o movimento nesse eixo é acionado proporcionalmente ao grau de inclinação.

Nessa plataforma a câmera é fixada de modo que se movimenta livremente do restante do veículo. Dessa maneira é possível diminuir a inclinação da câmera em relação ao solo mesmo com o VANT se movimentando.

O sistema inercial de câmera usado neste projeto é capaz de compensar o movimento nos eixos X e Y (inclinação lateral e frontal). O ângulo máximo no eixo X capaz de

ser compensado pelo sistema inercial é de aproximadamente 35 graus. No eixo Y esse valor é igual a aproximadamente 65 graus.

O eixo Z da câmera se mantém alinhado ao do helicóptero e é controlado pela placa controladora de voo, que utiliza os valores registrados pela bússola e pelo giroscópio Z para manter o prumo da aeronave sempre alinhado na direção estabelecida.

Na configuração final do Hexakopter para realização deste trabalho, o peso do mesmo foi de 1600 gramas, incluindo bateria, sensor e sistema de telemetria. Foram utilizadas baterias de polímero de Lítio com quatro células (14,8 volts) e capacidade de 5000 mAh.

Com essa configuração o VANT foi capaz de realizar voos de aproximadamente quinze minutos. Um sistema de telemetria foi utilizado para monitoramento da capacidade e da voltagem da bateria, assim como da temperatura dos controladores dos motores.

O sistema consiste em um transmissor que envia as informações à estação de solo, um termômetro digital e um monitor LCD com receptor embutido, que fica acoplado ao controle do VANT com indicações de temperatura e voltagem. Assim que a voltagem da

bateria chega a um nível baixo, um alarme sonoro dispara em solo indicando o momento de retornar e pousar para troca de bateria.

2.3. Calibração da câmera

O processo de calibração da câmera é essencial na fotogrametria, pois é através dele que são definidos os parâmetros para correção dos erros sistemáticos nas imagens. Este trabalho não visa avaliar os métodos de correção utilizados e apresenta de forma sucinta esta etapa.

Existem diversos métodos para realizar a calibração de câmeras, para este trabalho, o método escolhido foi o de colinearidade, que utiliza pontos para relacionar o espaço imagem e objeto. A tabela 2.3.1 apresenta os modelos matemáticos usados para a definição dos parâmetros.

Componentes da Distorção	Parâmetros	Modelo matemático
Rádica Simétrica ($\delta x_1, \delta y_1$)	K_1, K_2 e K_3	$\delta x_1 = (x' - x_0)(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6)$ $\delta y_1 = (y' - y_0)(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6)$
Descentrada ($\delta x_2, \delta y_2$)	P_1 e P_2	$\delta x_2 = P_1(r^2 + 2(x' - x_0)^2) + 2P_2(x' - x_0)(y' - y_0)$ $\delta y_2 = P_1(r^2 + 2(y' - y_0)^2) + 2P_2(x' - x_0)(y' - y_0)$
Afinidade* ($\delta x_3, \delta y_3$)	A e B	$\delta x_3 = A(x' - x_0)$ $\delta y_3 = B(x' - x_0)$

$r = \sqrt{(x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2}$

Tabela 2.3.1 Modelos matemáticos utilizados para definição dos parâmetros de calibração (Fonte: Galo, 1998)

Para realizar a calibração da câmera foram tiradas nove fotos (figura 2.3.1) de diferentes perspectivas de um quadro de calibração. O quadro foi desenvolvido pela empresa Adobe.

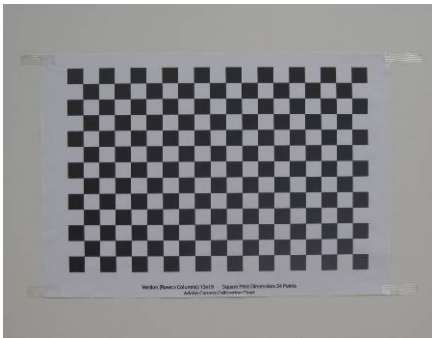


Figura 2.3.1 Quadro usado para calibração da câmera Canon SD1200

As nove fotos foram inseridas no programa Adobe Lens Profile Creator, desenvolvido especificamente para calibração de câmeras de pequeno formato. O programa realiza os procedimentos de forma quase automática, sendo necessário apenas informar o tipo e o tamanho do quadro de calibração e calcular o menor quadrante nas fotos.

O programa gera um arquivo com os valores dos parâmetros que pode ser lido em outros programas para correção das imagens. São calculados três valores para a distorção radial, o centro da imagem e dois valores para a distorção descentrada.

2.4. Plano de Voo

O planejamento de voo envolve o processo de cálculo de altura de voo e traçado de rota em função da área levantada e resolução final das imagens.

A primeira etapa para realizar um levantamento aéreo em uma área é planejar o voo de acordo com as necessidades finais do produto. Para um bom planejamento é necessário conhecer a resolução espacial desejada no final do trabalho, as capacidades do VANT, as especificações do sensor disponível e o nível de precisão esperado do produto.

Para começar o trabalho de planejamento é necessário obter as coordenadas da área que será sobrevoada. Quanto mais precisas forem as coordenadas coletadas da área, mais precisas serão as coordenadas repassadas ao VANT para realização do voo.

O levantamento feito neste projeto utilizou coordenadas coletadas com sistema de GPS de precisão para definição da área. O método de coleta dos pontos é explicado na próxima parte deste trabalho.

A área de estudo escolhida para este trabalho foi o estacionamento do ICC Sul na Universidade de

Brasília (UnB). A área possui aproximadamente quatro hectares (40.855 metros quadrados) com relevo plano.

Com as coordenadas levantadas, a etapa seguinte é calcular a altura ideal para o voo e o traçado do VANT. A altura pode ser calculada pela fórmula:

$$R = d \cdot H / f$$

R é a resolução espacial final da imagem, d é o tamanho do fotodetector (no caso o sensor CCD), H é a altura do voo e f é a distância focal da lente.

Para este trabalho optou-se por uma altura de vôo de quarenta metros acima do solo, obtendo-se imagens com resolução espacial de 0,011 metros por pixel (m/px), ou 1,1 centímetros por pixel (cm/px),

Conhecendo o tamanho final de cada pixel na imagem e a quantidade de pixels, é possível calcular a área de cada imagem capturada. Por exemplo, se a imagem possui uma resolução espacial de um centímetro e dimensões de 3648 x 2736 pixels, temos uma área de visada de 36,48 metros de largura por 27,36 metros de altura.

Com esses dados é possível calcular as coordenadas de cada imagem do aerolevante. É importante incluir a sobreposição

entre as imagens no momento do cálculo de coordenadas das imagens.

A sobreposição garante que serão capturadas, no mínimo, duas perspectivas diferentes de um mesmo ponto, assim é possível visualizar as imagens em três dimensões com o auxílio de óculos estereoscópicos. Além disso, a sobreposição entre imagens possibilita criar mosaicos não controlados através da identificação de pontos comuns nas imagens.

O voo é dividido em linhas e colunas de imagens (fig. 2.4.1), sendo que o sentido de voo pode ser norte/sul ou leste/oeste. A escolha da direção do voo deve ser feita de acordo com as particularidades de cada projeto.

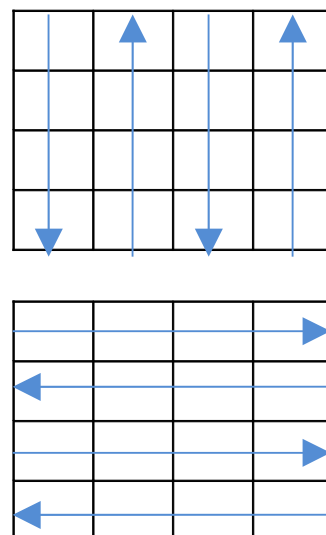


Figura 2.4.1 Divisão da área sobrevoada em quadrantes e possíveis sentidos de voos

Para calcular as coordenadas das linhas das imagens (deslocamento no eixo Y mantendo as coordenadas no eixo X fixas) tem-se:

$$Lat = y + (a * [100 - S / 100])$$

Lat é a latitude da linha de imagens, *y* é a latitude da linha anterior, *a* é a dimensão da imagem no eixo Y e *S* é a sobreposição desejada expressa em porcentagem. É importante que o cálculo seja iniciado pelo canto inferior direito da área a ser sobrevoada e sejam utilizadas coordenadas métricas.

O cálculo das coordenadas das colunas das imagens se dá pela fórmula:

$$Long = x + (l * [100 - S / 100])$$

Long é a longitude da coluna de imagens, *x* é a longitude da coluna de imagens anterior, *l* é a dimensão da imagem no eixo X e *S* é a sobreposição desejada expressa em porcentagem.

Neste trabalho as imagens foram capturadas com 60% de sobreposição longitudinal e 40% de sobreposição lateral. Os voos foram realizados no sentido longitudinal, sendo que o espaçamento longitudinal entre as linhas foi de 15,9 metros e o espaçamento lateral entre as colunas foi de 23,1

metros. A figura 2.3.2 apresenta o plano de voo utilizado neste projeto com 129 imagens a serem coletadas.

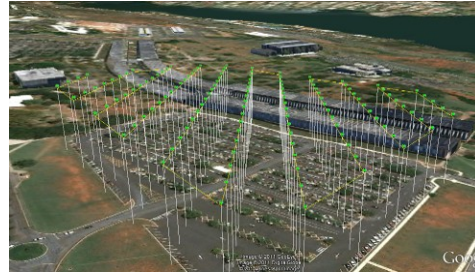


Figura 2.4.2 Visualização em três dimensões no programa Google Earth do plano de voo realizado no estacionamento sul do ICC Sul na Universidade de Brasília

A etapa seguinte após o planejamento do voo é a realização do trabalho de campo, que envolve o voo e a coleta de pontos de controle com GPS de precisão. Esta etapa será descrita na próxima parte deste trabalho.

2.5. Coleta de dados

A coleta de dados neste trabalho foi realizada nos dias 25, 26 e 27 de Novembro de 2011, no período entre 9:00 e 16:00 horas. No primeiro dia foram coletados os pontos de controle e nos outros dois dias foram adquiridas as imagens.

Foram coletados 43 pontos de controle distribuídos na área de estudo. Para cada coordenada coletada foi tirada uma foto do

ponto exato onde o aparelho GPS foi colocado (Figura 2.5.1). Estas fotos foram utilizadas para auxiliar a etapa de georreferenciamento das imagens coletadas pelo VANT, tornando o processo mais ágil.



Figura 2.5.1 Foto do local de coleta de ponto de controle

Todas as coordenadas foram determinadas no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), tendo como referência o Datum WGS 84 fuso 23 Sul. A tabela 2.5.1 apresenta alguns pontos levantados no trabalho.

Local:		Estacionamento ICC-Sul				
Coordenadas:		UTM - Fuso 23 Sul				
Referência:		WGS84				
Ponto	Este	Norte	Altitude (m)	Dp Este (m)	Dp Norte (m)	Dp Altitude (m)
1	192662,881	8254718,919	1020,625	0,07	0,09	0,0015
2	192687,303	8254745,647	1019,628	0,08	0,07	0,016
3	192712,205	8254781,689	1018,369	0,07	0,07	0,0015
4	192733,117	8254811,630	1017,267	0,07	0,07	0,015
5	192753,487	8254841,186	1015,310	0,09	0,06	0,017
6	192738,262	8254875,359	1015,485	0,08	0,08	0,015
7	192702,525	8254891,173	1015,650	0,08	0,08	0,015

8	192674,536	8254913,869	1015,613	0,08	0,08	0,015
9	192628,274	8254945,958	1015,672	0,10	0,09	0,015

Tabela 2.4.1 Exemplo de algumas coordenadas coletadas em campo

A segunda etapa do trabalho de campo consiste na realização dos voos para aquisição das imagens. Devido ao fato de o tempo de voo do VANT ser de aproximadamente quinze minutos, o plano de voo foi dividido em seis voos separados.

As coordenadas de voo são transmitidas ao VANT antes de o mesmo decolar com o auxílio de computador portátil. Um programa usado especificamente para configuração do Hexakopter foi utilizado nesta etapa. O programa se chama MKTool e foi desenvolvido pela empresa Mikrokopter, que fabrica o VANT.

A decolagem e o pouso são realizados manualmente pelo operador do VANT. Para a decolagem, o VANT foi levado manualmente até uma altura de aproximadamente 20 metros, onde então, o controle era passado aos sistemas de navegação do VANT.

A plataforma foi programada para permanecer 12 segundos em cada coordenada para tomada da imagem. Após esse intervalo de tempo a mesma prosseguia para o ponto seguinte. O acionamento do disparador da câmera foi feito pelo

operador de voo nesse intervalo de tempo.

Após realizar o percurso programado para cada voo, o VANT foi programado para retornar à estação de solo de forma automática. Ao chegar às coordenadas da estação de solo o mesmo se mantinha pairando em altura fixa até o operador de voo assumir o controle e realizar o pouso para a troca de baterias. Para otimizar o trabalho, as baterias eram recarregadas na estação de solo enquanto o VANT realizava o vôo seguinte com outra bateria.

As condições climáticas nos dias que foram realizados os voos eram de muitas nuvens com pancadas de chuvas. Dos seis voos programados foram realizados apenas quatro completos devido à impossibilidade de voar com chuva. Voos foram interrompidos diversas vezes devido ao início de chuva.

Sendo assim, apenas 73 das 129 imagens previstas puderam ser capturadas, cobrindo uma área de 2,2 hectares ao invés dos 4 hectares iniciais.

2.6. Processamento dos dados

Neste trabalho quatro abordagens foram testadas para obtenção de resultados, duas delas

com processamento dos dados na máquina local e duas delas utilizando o conceito de computação nas nuvens (do inglês *Cloud Computing*). O processamento local é a abordagem mais tradicional onde os dados são armazenados e trabalhados em unidades físicas locais. O processamento nas nuvens consiste no envio dos dados para servidores por meio da internet, onde os mesmos são processados e os resultados disponibilizados para acesso remoto ou para baixar para uma máquina local. A figura 2.6.1 apresenta em forma de esquema as abordagens realizadas.

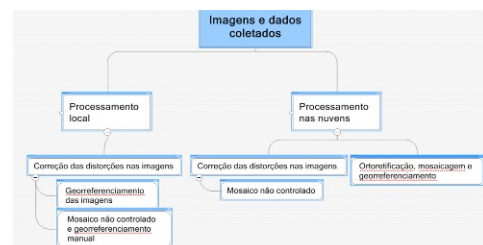


Figura 2.6.1 Esquema das abordagens testadas para o processamento dos dados

A etapa seguinte à coleta dos dados consiste em descarregar as informações e processá-las para obter os produtos definidos anteriormente. Os dados trabalhados são: coordenadas dos pontos de controle, parâmetros de calibração de câmera, imagens obtidas em vôo e o registro de vôo

armazenado pela placa de navegação.

A primeira parte do processamento foi a correção das distorções nas imagens ocasionadas pela lente da câmera. Para este processo utilizou-se o programa Adobe Photoshop CS5, que possui uma função específica para isto chamada de *Lens Correction*.

Basicamente o que o programa faz é ler o arquivo com os parâmetros de calibração da câmera, corrigir as imagens de acordo com estes parâmetros e escrever um novo arquivo com as correções efetuadas. A figura 2.6.2 mostra uma imagem antes e após as correções.



Figura 2.6.2 Acima a imagem original e abaixo a imagem corrigida

Fica claro que as partes mais distantes do centro da imagem são as mais afetadas pelas distorções. Com as imagens corrigidas a etapa seguinte do trabalho é descobrir as coordenadas X, Y e Z no momento da foto.

Para isso é feita uma comparação dos horários das imagens com o registro de voo. Para facilitar esta etapa o horário da câmera foi ajustado de acordo com o horário do GPS do VANT.

Desta maneira é possível conhecer a posição, altura, orientação e atitude do VANT no momento de cada imagem. Para este trabalho foram desconsideradas as informações sobre a inclinação do VANT já que foi utilizado um sistema inercial para a câmera que tenta manter o sensor em alinhamento ortogonal ao solo.

O programa Palentier (www.palentier.com) foi utilizado para automatizar o processo de comparação das imagens com os registros dos vãos. Após a realização desta etapa obtêm-se imagens individuais orientadas e georreferenciadas. A precisão deste georreferenciamento está diretamente ligada à precisão do

GPS a bordo do VANT. Nos testes realizados neste trabalho obteve-se um erro médio de oito metros, entre os pontos nas imagens e as coordenadas coletadas com receptor GPS de precisão.

Apesar da baixa precisão, este método possui a vantagem de apresentar os resultados rapidamente. Em menos de 30 minutos após o vôo, os resultados já podem ser visualizados em softwares como gvSIG, ENVI e Google Earth. Isto possibilita que os dados sejam vistos ainda em campo ajudando nas tomadas de decisões em situações de desastres e acidentes.

Além do georreferenciamento das imagens, foram feitos vários testes para geração de mosaicos não controlados (figura 2.6.3) a partir das imagens. Foram utilizados os programas AutoPano PRO 2.5, Microsoft Image Composite Editor - ICE, AutoStitch, Hugin e Adobe Photoshop.



Figura 2.6.3 Mosaico não controlado produzido pelo programa AutoPano PRO

O funcionamento de todos estes programas se baseia na busca de pontos comuns entre as imagens para vinculação das mesmas. Para isto é essencial que haja sobreposição entre as imagens.

Cada programa utiliza algoritmos diferentes para realizar a tarefa, porém os processos são semelhantes. Os algoritmos buscam pontos em comuns nas imagens avaliando os valores dos pixels, a geometria das formas e pontos de interesse. Um dos algoritmos mais usados para reconhecimento de feições em imagens é conhecido como SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), e foi publicado por David Lowe em 1999 (Lowe, 2004).

Após a criação dos mosaicos não controlados os mesmos foram georreferenciados manualmente em softwares de Processamento Digital de Imagens (PDI) como ENVI e ArcGIS. Para o georreferenciamento foram utilizados os pontos de controle coletados anteriormente.

Outro método para criação de mosaico não controlado foi o serviço disponibilizado pela empresa Microsoft, que se chama PhotoSynth. O funcionamento é similar ao dos programas citados anteriormente, porém todo o processamento é realizado nos

servidores da empresa. As imagens são enviadas com o auxílio de pequeno programa disponibilizado gratuitamente pela empresa.

O resultado (figura 2.6.4) pode ser acessado em qualquer computador com um navegador e acesso à internet. A desvantagem deste método é o que o serviço não gera uma imagem final única que possa ser baixada para trabalhar em outros programas. Ele simplesmente disponibiliza uma navegação pelas fotos e que só pode ser acessado na página do serviço na internet.



Figura 2.6.4 Visualização de mosaico criado pelo serviço Microsoft PhotoSynth

O serviço gera também uma nuvem de pontos tridimensional a partir das imagens. Esta nuvem de pontos pode ser extraída através de serviços específicos como PhotoSynth ToolKit para ser trabalhada em programas específicos como o gratuito Blender. Dependendo da qualidade final do processo é possível extrair

modelos digitais de elevação a partir da nuvem de pontos (figura 2.6.5).

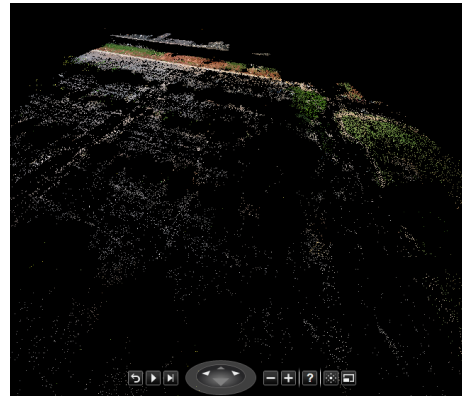


Figura 2.6.5 Nuvem de pontos gerada pelo Microsoft PhotoSynth

Outro serviço nas nuvens testado foi o da empresa Pix4d, desenvolvido especificamente para trabalhar com imagens obtidas a partir de VANTs de pequeno porte. O serviço é pago, porém as três primeiras vezes são disponibilizadas gratuitamente.

Para enviar os dados aos servidores é necessário baixar um pequeno programa disponibilizado na página da empresa na internet.

O serviço pede que sejam enviadas as imagens e um arquivo contendo as coordenadas X, Y, Z e a orientação do VANT no momento de coleta de cada imagem. Para aumentar a precisão do georreferenciamento do mosaico pode-se optar por enviar um arquivo contendo as coordenadas de pontos de controle que devem

ser vinculados a pontos nas imagens.

Após processar os dados, o serviço disponibiliza os produtos para que sejam baixados da internet. O serviço cria um mosaico de ortofotos georreferenciado bem como o Modelo Digital de Elevação da área. Para este trabalho apenas o mosaico foi baixado



Figura 2.6.6 Ortofotos geradas pelo serviço Pix4d

3. Resultados

Todos os programas de mosaicagem não controlada produziram resultados satisfatórios, porém todos os mosaicos apresentaram erros na união das imagens.

Seguindo esta metodologia os programas que apresentaram os

melhores resultados foram o Adobe Photoshop e Kolor Autopano PRO. Apesar de produzirem os melhores resultados foram os que exigiram mais tempo de processamento, levando em media 3 horas para concluir o processo.

O principal problema apresentado nos mosaicos não controlados foi a união entre as faixas de imagens levantadas em dias diferentes. As imagens adquiridas no sábado 26/11/2011 apresentaram vários carros estacionados, fato que não ocorreu nas imagens do domingo 27/11/2011. Esta diferença provavelmente confundiu os programas durante o processo de busca de pontos comuns nas imagens.

Outro fator que contribuiu para confundir os algoritmos foram os padrões repetitivos das marcações de transito no local.

Apesar de apresentarem problemas, os mosaicos puderam ser georreferenciados e sobrepostos com dados existentes do SICAD 98 do Distrito Federal.

Possíveis aplicações destes mosaicos são: monitoramento ambiental, identificação de invasões em áreas urbanas, identificação e monitoramento de culturas em agricultura de precisão e auxilio

para tomadas de decisões em casos de catástrofes e desastres.

O resultado obtido pelo serviço Pix4d foi o que apresentou melhor qualidade, tanto no mosaico como no georreferenciamento. O produto também apresentou problemas na união das imagens nas faixas dos dias diferentes, porém o mosaico se mostrou muito superior aos demais.

O deslocamento médio dos pontos na imagem com relação aos respectivos pontos de controle foi de 20,9 centímetros e a resolução espacial do mosaico foi de 1,1 centímetros.

4. Conclusão e estudos futuros

O uso de VANTs de pequeno porte para a realização de aerolevantamentos não substitui os atuais métodos que utilizam aviões tripulados e sensores de alta qualidade, porém preenchem uma lacuna deixada pelos métodos tradicionais.

O baixo custo de operação destas plataformas não tripuladas permitem que sejam realizados aerolevantamentos em pequenas áreas, algo inviável para aviões tripulados. Além disso, o pequeno tamanho e a versatilidade destes VANTs permitem que eles sejam levados e operados em locais

remotos, onde o custo para a realização do aerolevantamento com plataformas tripuladas torna o trabalho inviável.

O uso de sistemas de navegação mais precisos poderá aumentar ainda mais a qualidade dos produtos gerados por estas plataformas.

Uma das principais deficiências observadas neste trabalho é a baixa capacidade de carga que impossibilita o uso de sensores multiespectrais e a baixa autonomia de voo, que impede a realização de aerolevantamentos em grandes áreas.

Futuros estudos nesta área serão o uso de plataformas de asa fixa para aumentar a capacidade de carga e duração dos vôos, bem como avaliar o uso de outros sensores que trabalhem em diferentes faixas do espectro eletromagnético.

Bibliografia

- Aber S. J., Marzloff, I., Ries J. B., 2010,** Small-Format Aerial Photography - Principles, Techniques and Geoscience Applications, Amsterdam, Holanda.
- Eisenbeiss, H., 2009.** UAV Photogrammetry, Zurique, Suíça.
- Eisenbeiss, H., 2004.** A mini unmanned aerial vehicle (UAV):

System overview and image acquisition, Em: International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, International workshop on processing and visualization using high resolution imagery, Pitsanulok, Thailand Vol. XXXVI-5/W1, on CD-Rom.

Everaerts, J., 2008, The use of UAVs for remote sensing and mapping, Em: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China.

GALO, M., 1998 Estrutura de Dados do Programa de Calibração de Câmaras (CC). Publicação Interna do Departamento de Cartografia, UNESP/FCT, Presidente Prudente, Brasil.

Grenzdörffer, G. J., Engel, A., Teichert, B., 2008, The photogrammetry potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture, Em: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, China.

Haarbrink, R. B., Eisenbeiss, H., 2008, Accurate DSM production from unmanned helicopter systems, Em: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote*

Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, China.

Marenchino, D., 2009, Low-cost UAV for the environmental emergency management. Photogrammetric procedures for rapid mapping activities, Torino, Itália.

Mikrokopter, 2011. Projeto Wikipédia Mikrokopter na internet, <http://www.mikrokopter.de/ucwiki/en/MikroKopter?action=show&redirect=FrontPage>, acessado em 2011.

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D., 2011. UAV Photogrammetry for Mapping and 3d modeling – Current Status and Future Perspective, Em: Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurique, Suíça.

Sakis, Z., 2001. Survey of UAV applications in civil markets, Creta, Grécia.

Strecha, C., 2011, *Automated Photogrammetric Techniques on Ultra-light UAV Imagery*, Suíça.

UVS International Community, 2011. Pagina na internet da comunidade, <http://www.uvs-international.org/>, acessado em 08/12/2011

Xing, C., Wang, J., Xu, Y., 2010, A Method for Building a Mosaic with UAV Images, Wuhan, China.

