

Veículos aéreos não tripulados como Portadores de Geo-Sensores – um Estudo comparativo

Antoninho João Pegoraro ¹
Jürgen W. Philips ²

UFSC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

88040-970 Florianópolis SC

¹ ajpegoraro@smail.ufsm.com

² jphilips@gmx.net

Resumo : Embora os princípios básicos matemáticos da fotogrametria permaneçam inalterados, a sua implementação e aplicação vem sofrendo transformações radicais, passando pelas formas de obtenção, processamentos e produtos finais. Os produtos fotográficos obtidos deixam gradativamente suas naturezas químicas para se tornarem pequenas informações físicas, levando consigo uma metodologia de processamento bem diferenciada da sua origem. Este trabalho pretendeu resgatar um pouco da trajetória das alternativas atuais de obtenção remota de imagens aéreas. Através das aplicações já conhecidas, procurou-se sintetizar as qualidades e deficiências apresentadas pelos balões, helicópteros, aviões, paramotores e microdrones rádios controlados como alternativas de utilização no sensoriamento remoto. Por serem equipamentos economicamente mais viáveis, em relação às formas tradicionais, e mais flexíveis em determinadas funções, acredita-se que possam contribuir substancialmente para a atualização cadastral através da aquisição de imagens aéreas e desenvolvimento de novas tecnologias. As aplicações encontradas foram bem limitadas embora os potenciais de utilização sejam amplos. Concluiu-se que seu potencial fotogramétrico é elevado, mas, no entanto ainda em fase de exploração isto se deve ao fato de ser uma tecnologia pouco conhecida, com pouco incentivo a pesquisa e também porque os seus fabricantes ainda não estão totalmente conscientes e familiarizados com as necessidades especiais dos fotogrametristas e profissionais usuários de dados de Sistemas de Informações Geográficas. Por outro lado estes sistemas são muito atraentes para grupos de pesquisa envolvidos no projeto de instrumentação e temáticas de investigação por imagens aéreas, porque são de baixo custo e flexível para coleta de dados.

Palavras chaves: sensoriamento remoto, fotogrametria, unmanned aerial vehicles

1 Introdução

Com o acelerado avanço dos meios de comunicação passamos a receber informações de textos e imagens em tempo quase real. Sabemos que fotogrametria clássica é a melhor ferramenta para desenvolvimento de grandes extensões de mapeamento em escala média, mas também sabemos que, em áreas de pequena dimensão ela não é viável do ponto de vista econômico. Portanto, estudos que levem buscar formas mais práticas, econômicas e rápidas em áreas pequenas, buscando novos produtos e tecnologias aproveitando-se dos avanços das imagens digitais, programas de ortorretificação e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são bem relevantes.

Não existe mais um padrão único para câmeras fotográficas, aquele padrão onde conhecíamos o tamanho do quadro e a distância focal, onde havia a preocupação com a procedência das lentes e a granulação de filmes, hoje a preocupação deu lugar ao tamanho do CCD, bits e pixels. Atualmente, em alguma etapa do processo de utilização das imagens elas passarão para a forma digital reduzidas a bits e bytes, linguagem esta que os computadores reconhecem.

Estamos testemunhando a passagem gradativa dos produtos fotográficos obtidos de natureza química para se tornarem pequenas informações físicas e levando consigo uma metodologia de processamento bem diferenciada da sua origem. Os estereoscópicos aos poucos vão dando passagem aos óculos polarizadores e os equipamentos de apoio tais como: GPS, radio-controle, estações base, altímetros, câmeras imageadoras e aplicativos computacionais estão se tornando cada vez menores, mais leves e mais acessíveis de modo que podem ser embarcados para apoiar os VANTs.

Veículos Aéreos Não Tripulados é um termo genérico que identifica aeronaves que podem voar sem tripulação, normalmente projetadas para operar em situações perigosas e repetitivas em regiões consideradas hostis ou de difícil acesso. Existe uma grande diversidade de tipos de VANTs, muitos deles ganhando ênfase na esfera civil e tornando-se uma opção válida no cenário comercial atual, estão se tornando também uma realidade mais forte na aviação civil. Com isso, surge a necessidade de uma regulamentação e métodos que auxiliem na integração desses veículos ao espaço aéreo controlado e não segregado. Furtado et al (2008). Os Vants foram criados na década de 50, inspirados nas bombas voadoras alemãs e aeromodelos rádio-controlado. Os sistemas foram impulsionados com a evolução das tecnologias de miniaturização, enlace de dados e controle de voo, tornando-os imprescindíveis nos cenários atuais. Os equipamentos podem ser empregados em missões de reconhecimento, designação laser de alvos, controle de tiro, busca vigilância urbana, costeira e de fronteiras, entre outras. Suas principais características são a grande autonomia de voo, o baixo custo operacional, a fácil integração nos processos de comando e controle, o baixo registro em radares (difícil de ser detectado) e a disponibilização de dados em tempo real. Ministério da Defesa (2010).

Conforme Jansen (2009), desde os anos de 1980, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) vem investindo bilhões de dólares no desenvolvimento de veículos aéreos não-tripulados para atender aos requisitos de missões específicas táticas ou daquelas que precisem de grande autonomia de voo para reconhecimento ou vigilância. As tecnologias de voo autônomo estão cada vez mais presente em VANTs, os aplicativos computacionais, fazem o trabalho de rotina mental que os pilotos faziam. Os sensores estão cada vez menores, mais leves, com melhor capacidade de armazenamento e mais acessíveis aos consumidores finais. Porém, com tudo isso ainda estamos insipientes de material de apoio cartográfico.

Esta pesquisa procurou buscar entre os equipamentos radio-controlados: balões, aviões, helicópteros, paramotores e microdrones as suas principais aplicações bem como as tecnologias envolvidas, como alternativas de sensoriamento remoto na obtenção de imagens aereas para estudo na atualização do cadastro territorial urbano, e eventualmente na construção do cadastro 3D, entendendo que mais do que descobrir novas tecnologias é muito importante que estas sejam aplicadas e divulgadas para que os seus usuários façam suas apreciações e contribuições para os aperfeiçoamentos futuros.

2 Material e métodos

2.1 Regulamentação Brasileira para vôos não tripulados

Para Furtado et al (2008), a integração de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Espaço Aéreo Civil ainda possui grandes barreiras que passam pelos domínios de regulamentação corrente, falta de experiência operacional e deficiências tecnológicas. Para a utilização de VANTs no espaço aéreo brasileiro, novos estudos sobre metodologias de análise e tecnologias deverão ser incorporados aos sistemas de controle atuais, promovendo uma convivência segura e confiável entre aeronaves tripuladas e não tripuladas.

O Controle de Tráfego Aéreo brasileiro ainda não está devidamente preparado pra aplicações com VANTs. Será preciso, além de uma legislação a respeito, recursos computacionais e treinamentos adequados para os controladores de tráfego aéreo e pilotos. Estações de Controle de VANTs deverão comunicar-se com as estações de controle tradicionais, e estas com as aeronaves, sejam elas tripuladas ou não. Sistemas anti-colisão pró-ativos e colaborativos precisam ser implementados, permitindo a convivência entre o mundo tripulado e o não tripulado. Pró-ativos quando os equipamentos a bordo das aeronaves ou em solo identificam ameaças e riscos de colisão, e avisam aos sistemas de controle das aeronaves a alternativa mais adequada para evitar um desastre aéreo. Colaborativos quando os próprios pilotos são parte ativa na prevenção do acidente, com equipamentos a bordo que ajudem a monitorar o espaço ao redor e sua rota, sem que o controlador precise intervir a todo instante, em solo.

Quando se considera o VANT em aplicações civis, há um grande escopo de cenários possíveis para sua utilização. Por exemplo, pesquisa ambiental remota, monitoração e certificação de poluição, gerenciamento

de queimadas, segurança, monitoração de fronteira, oceanografia, agricultura e aplicações de pesca entre outras. Em geral, todas estas aplicações podem ser divididas em quatro grandes grupos: aplicações ambientais, aplicações de segurança, aplicações de comunicação e aplicações de monitoramento.

2.2 Qualidade da imagem

Conforme Jorge (2003), a nitidez das imagens obtidas a bordo de uma aeronave depende da estabilidade da aeronave em vôo. Aeronaves em escala reduzida são menos estáveis e apresentam maior vibração mecânica que as aeronaves em tamanho real. Quanto menor for o tempo de exposição na obtenção, maior será a possibilidade de obtenção de imagens nítidas com a aeronave em movimento e sujeita a vibrações. Os fatores que afetam a qualidade das imagens obtidas são: sensibilidade do elemento capturador de imagem, abertura do diafragma (ou íris), tempo de exposição, condições de iluminação do local, velocidade horizontal da aeronave, vibração linear da aeronave na direção dos eixos de arfagem e rolagem, vibração angular da aeronave em relação aos eixos de arfagem, rolagem e guinada.

Uma característica importante para a obtenção de imagens nítidas é a velocidade de vôo da aeronave. Quanto mais baixa for essa velocidade, maior é a possibilidade de obtenção de imagens nítidas para uma mesma condição de iluminação.

A velocidade mínima de vôo de uma aeronave depende do seu tipo. Em balões e helicópteros essa velocidade é próxima a zero. Em aviões, a velocidade mínima de vôo está intimamente relacionada com a velocidade de estol, que pode ser estimada pela expressão:

$$VS = (p * 1,6 / C_{smax} * SA * Da)^{1/2}, \text{ onde:}$$

VS = velocidade de estol (m/s);

P = peso da aeronave (kg)

SA = área da asa (m²)

Da = densidade do ar no nível do mar = 1; a 1500 m = 0.8616 (kg/m³)

C_{max} = coef. de sustentação máximo, normalmente próximo de 1.

2.3 Alguns sistemas em uso

Embora existam inúmeras formas e tentativas de sensoriamento remoto alternativo e custos variados é bom lembrar que estes inevitavelmente carregam características próprias, limitações, vantagens e desvantagens. Isso faz com que o usuário tenha que se esclarecer de suas aplicações bem como do melhor produto a ser obtido. Nos parágrafos que seguem, apresentamos aplicações por balões, aviões, helicópteros, paramotores e quadrirotóres, todos controlados remotamente.

2.3.1 Balões

Para baixas altitudes e no limite da visão do operador, ele pode ser operado com muita segurança e apresenta as seguintes vantagens: livres de vibração do motor, baixo custo na exploração, facilidade de manuseio e montagem, baixo custo de manutenção, relativamente seguro podendo ser operado em áreas povoadas, é de fácil deslocamento dentro de seu raio de ação. O balão pode ser também adaptado ao tamanho e massa dos instrumentos que precisam ser transportados. Figura 1.

Para Everaerts (2008), por serem sistemas de baixa altitude entre 150 a 200 m, voam abaixo do tráfego aéreo. Eles podem ser operados com facilidade, mas normalmente só à vista do piloto. Isso limita a área que podem ser cobertos em uma única missão. Por outro lado, eles podem ser trazidos para a área de pesquisa de carro ou caminhão, e pode ser operado por muitos. Estes sistemas são muito atraentes para grupos de pesquisa envolvidos no projeto de instrumentos e temáticas de investigação, porque eles oferecem baixo custo e são flexíveis para a aquisição de dados.

Eisenbeiß (2009) cita diversas tentativas de obtenção de imagens aéreas por balões, algumas bem sucedidas outras não atingiram seus objetivos, mas fica claro pelas exposições que o balão provocado pelo vento e a limitação de altura restringem muito o tipo de utilização.

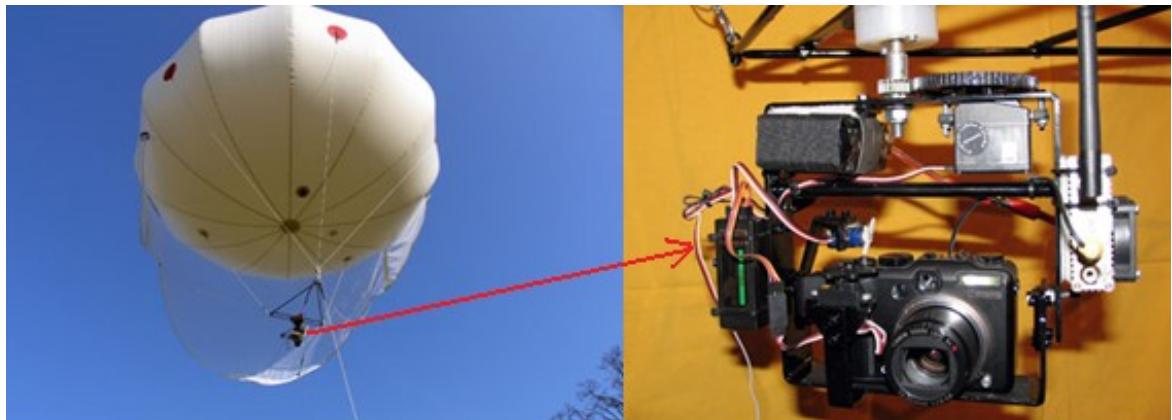


Figura 1 : Balão adaptado ao tamanho e massa dos instrumentos. Fonte: <http://www.rc-zeppelin.com>

2.3.2 Aviões

O projeto ARARA (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas), figura 2 (a), está centrado no desenvolvimento e uso de VANTs, de escala reduzida, para monitoramento aéreo. Seu principal objetivo é a substituição de aeronaves convencionais utilizadas na obtenção de fotografias aéreas, para monitoramento de áreas agrícolas e áreas sujeitas a problemas ambientais, por UAV's de pequeno porte que realizam missões pré-estabelecidas pelos usuários. O projeto ARARA está sendo desenvolvido no Laboratório de Computação de Alto Desempenho do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - USP São Carlos em cooperação com a EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, São Carlos SP. Jorge (2002).

Conforme Eisenbeiß (2009), a empresa Mavionics desenvolveu uma aeronave asa fixa R/C que permite o voo autônomo de diferentes campos de aplicações civis. Os sistemas de Carolo T200, figura 2 (b), é um modelo padrão, que possui um sistema de piloto automático desenvolvidos pela Mavionics GmbH, software de controle de missão (MCS) e um controle remoto para as manobras manuais. A carga padrão é uma câmera fotográfica Canon Powershot S60 e mais alguns componentes técnicos que ao todo pesam 1Kg . O MCS apresenta um mapa georreferenciado, onde as linhas de vôo são definidas pelo ponto inicial e final. A curva de uma linha para outra, é feita em um raio constante, enquanto o raio mínimo é limitado a 30° no ângulo de rolamento da MCS, a fim de evitar uma instabilidade do sistema. Após a descolagem manual, o sistema muda para o modo autônomo, enquanto o avião se aproxima do primeiro ponto. Após a missão, o piloto assume o controle em terra de todo o sistema de segurança.



Figura 2 : (a) projeto ARARA, fonte Jorge (2002) e (b) sistemas de Carolo T200, fonte Eisenbeiß (2009)

2.3.3 Helicópteros

Para Everaerts (2008), helicópteros não tripulados existem em vários tipos e tamanhos. No Japão, por exemplo, centenas são utilizadas na agricultura, utilizados como plataformas para arar, semear, pulverizar. Esses helicópteros também foram equipados com instrumentos de imagem para monitorar o crescimento

das plantas, detectarem doenças e stress da vegetação, devido à escassez de água.

A figura 3 (a) mostra um helicóptero utilizado pela EMBRAPA, projeto ARARA I e (b) utilizado pela Universidade de Linköping, Suécia.



Figura 3 : (a) ARARA I Helicóptero, Fonte: Jorge (2002) e (b) flying RMAX system of the Linköping University, Sweden. Fonte: Eisenbeiß (2003).

2.3.4 Paramotores

Os parapentes motorizados também denominados de paramotores, são uma alternativa para aplicações individuais. O sistema da Universidade de Bonn (Alemanha), figura 4 (a), é um controlado manualmente e impulsionado por um motor de 4,1 kW de 2 tempos. O peso do sistema varia entre 8 kg e 12 kg, pois até 5 kg de carga útil pode ser conectado ao sistema. A estrutura é montada em um parapente, que serve como uma asa. Portanto, um voo lento e estável é garantido e o sistema fornece alta segurança em caso de uma falha do motor. A plataforma também permite a montagem de sensores diferentes. O campo de visão é transmitido para o operador e pode ser visto em óculos especiais ou telas de vídeo, laptops, etc. Embora a aquisição da imagem é acionada via controle remoto, a posição é determinada por um sistema de GPS de baixo custo e transmitidas ao operador. O sistema é restrito a voar em velocidades de vento menores que 6 m/s. A altura máxima de voo de 4.500 metros e uma distância de operação de até cinco quilômetros. Para a descolagem e aterragem necessita de uma pista com um comprimento de 5m a 25m é necessário (Thamm e Judex, 2006). Yamauchi (2004), em um projeto denominado Griffon, figura 4 (b), utilizou um Paramotor R/C para transportar ou robô, também R/C. Neste projeto avaliou principalmente a sustentação em voo, capacidade do motor, estabilidade do voo e as características dos servos de controle com esta carga, obtendo resultados satisfatórios em todos os quesitos e sugerindo para outro projeto: controle de vídeo em tempo real, capacidade de navegação autônoma de voo usando os waypoints do GPS, lançamento e capacidades de pouso semi-autônomos.

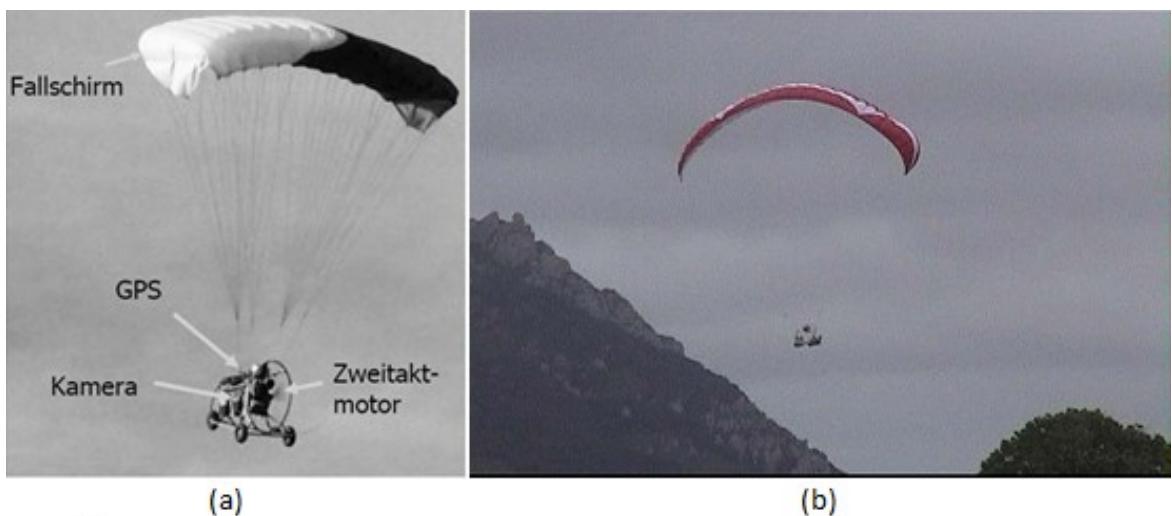


Figura 4 : (a) paramotor „Susi“ , fonte: Thamm (2006) e (b) Paramotor Griffon, fonte: Yamauchi (2004)

2.3.5 Microdrones

Com os avanços da engenharia de controle e ciência dos materiais, foi possível desenvolver pequenos VANTs quadrirotores conhecidos como microdrones, que podem ser equipados com câmeras e sensores, figura 6 (a), e operados por uma estação de controle no solo, figura 6 (b). São veículos originalmente desenvolvidos para fins militares, que passaram a ser utilizados em aplicações civis. Destas aplicações destacam-se a obtenção de imagens aéreas convencionais, em tempo real, infravermelho e até modelos estereoscópicos para fotogrametria.

Estes equipamentos se destacam devido à simplicidade mecânica e as facilidades de execução de manobras de voo tornando-se um campo de interesse de muitas pesquisas. O alto grau de liberdade de voo permitido pode ser explorado de forma a obter informações que até então não eram possíveis, pois incorporam tecnologias que permitem decolagem vertical, voo pairado, facilidade de aterrissagem em um espaço mínimo, sensores iniciais e de presença de obstáculos. Eles nos permitem obter uma visão do olho do pássaro do meio ambiente, sendo muito útil em muitas aplicações, como monitoramento ambiental, vigilância e gestão de desastres. Quaritsch et al (2008).

Kuhnert, em uma de suas pesquisas, utilizou diferentes veículos (AMOR, PSIQUE e DORIS) operados de forma flexível para cobrir uma vasta gama de aplicações possíveis para um modelo de ambiente 3D. Um mapa completo permitiu navegar de forma autônoma em terrenos complexos durante o manuseio dos objetos presentes de forma adequada. Nesta pesquisa, ele fez uma combinação de veículos terrestres e aéreos para executar as tarefas, foi uma aplicação de cooperação de solo-ar na área da robótica. O robô aéreo foi utilizado para a aquisição de imagens de vídeo ao vivo, que o robô de terra usou para realizar um registro com ortofotos georreferenciadas a partir de um banco de dados geo.



Figura 6 : Microdrone em voo (a) {fonte: <http://mikrokopter.de/ucwiki/VideoAbspielen?id=195> 06:25 min} e estação de controle (b) {fonte: <http://mikrokopter.de/ucwiki/VideoAbspielen?id=195> 04:46 min}.

2.3.5.1 MD4 1000

Conforme o site da empresa Microdrones, o MD4-1000 é provavelmente um dos mais modernos VANT disponíveis no mercado global. Incorpora o que há de mais moderno em termos de equipamentos, foi concebido para executar funções na área de documentação de terra, coordenação, pesquisa, vigilância, comunicação, fiscalização e observação. O corpo do MD4 1000 e o adaptador de câmera são feitos de fibra de carbono material composto que apresentam as características peso leve alta rigidez. A concepção dos braços dobráveis é mais conveniente para o transporte. Um conceito de carga modular permite de forma flexível adaptar o equipamento para a missão pretendida. A disponibilidade de uma câmera digital de alta resolução, vários soluções de vídeo adaptadas às diferentes condições de iluminação e sistema de imagens infravermelho deixam o MD4-1000 com capacidade de realizar diversas possibilidades de gravação e transmissão de imagem.

A estação base concentra toda as informação relevante para ao vôo tais como: telemetria completa, imagens de vídeo tomadas direto do aparelho. O MD4-1000 também pode voar por controle remoto ou de forma autônoma, com a ajuda do sistema de navegação GPS Waypoints. O sistema 2.0B CAN-BUS e AAHRS (Altitude, Altitude e Sistema de Referência de Rumo), que integrado com acelerador, giroscópio, magnetômetro, barômetro, termômetro e higrômetro, permite a operadores inexperientes aprenderem a voar num curto espaço de tempo. Para sua segurança o equipamento, irá pairar no ar automaticamente se a operação de controle remoto parar. Se permanecer por mais de 30 segundos sem sinal do controle remoto ou com a bateria fraca, o veículo voltará ao pouso de emergência automaticamente. A duração de vôo pode ser de até 70 minutos (dependendo da carga transportada e das condições ambientais, como velocidade do vento e da temperatura ambiente). A gravação dos dados de vôo pode ser copiada para um CD ou DVD.

O decodificador Downlink recebe a telemetria do equipamento e permanentemente exibe todos os dados importantes sobre a tensão da bateria, posição, altitude, duração do vôo, velocidade, trajetória de voo, distância do ponto de origem, temperatura ambiente, rotações do motor, entradas de controle remoto, condições operacionais e muitos outros detalhes. Todos os dados são salvos pelo sistema de registro de voo para posterior análise. Mesmo que seja sob o modo de voo manual de controle remoto, o sistema pode apresentar uma posição em tempo real do equipamento no mapa, se este foi instalado como um mapa digital, ou imagens de dados de mapa do local da operação.

O Editor Waypoint fornece os meios para criar planos programados detalhados de voo que o MD4-1000 poderá executar na forma autônoma. Além da rota simples existem inúmeras funções fotográficas como, por exemplo, tirar fotos de uma vista panorâmica ou circulando em torno de um determinado ponto de interesse. O voo planejado é exibido em 3D e pode ser exportado para o Google Earth TM, se necessário.

3 Conclusão

Pelo exposto, concluímos que é possível obter imagens aeras por diversas plataformas aéreas não tripuladas, no entanto, a qualidade dos resultados são variados, dependendo principalmente da navegação e estabilização do sistema e equipamentos de apoio. Cada plataforma tem suas peculiaridades, então, cabe ao usuário se adaptar a ela ou escolher a que mais proporciona satisfação e resultados. As limitações climáticas, distância, peso e altura variam conforme as características de cada equipamento.

Mesmo que não haja piloto fisicamente presente na aeronave, isso não significa que por si só, autonomamente ela está se conduzindo. Em muitos casos, a equipe responsável por ela é maior do que a de uma aeronave convencional. Por ser controlada a distância, precisa de links de comunicação confiáveis entre seus componentes, bem como autorização e respeito a legislação de Controle de Tráfego Aéreo local. Estes sistemas ainda não são aceitos no tráfego aéreo normal, principalmente porque a maioria deles ainda não tem capacidade de reação a situações imprevistas.

Por outro lado, normalmente, são operados a baixa altura e controlados visualmente não oferecendo maiores perigos ao tráfego aéreo regular.

Estes sistemas são muito atraentes para grupos de pesquisa envolvidos no projeto de instrumentos e temáticas de investigação, porque são de baixo custo e flexível para coleta de dados. Quando os regulamentos da aviação forem adaptados para incluir esses sistemas no espaço aéreo geral, os VANTS, certamente serão plataformas preferidas para o desenvolvimento do sensoriamento remoto e de suas aplicações.

4 Referências bibliográficas

Eisenbeiß, H.: *UAV Photogrammetry*. Doctor of sciences, University of Technology Dresden (Germany) 2009

Jorge, L.A.C. Trindade Junior, O. *Metodologia para Utilização de Aeromodelos em Monitoramento Aéreo*. Embrapa, São Carlos 2002

Jorge, L.A.C. *Metodologia para Utilização de Aeromodelos em Monitoramento Aéreo: Análise de Imagens*. Embrapa, São Carlos 2003

Everaerts, J. *The use of Unmanned Aerial Vehicles (Uavs) for Remote Sensing and Mapping*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. *Beijing 2008*

Furtado, V.H; et al.: *Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não Tripulados (vant) no espaço aéreo brasileiro*. Grupo de Análise de Segurança – GAS, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. VII Simposio de Transporte Aereo -Sitraer, Rio de Janeiro 2008

Quaritsch, M.; et al.: *Collaborative microdrones: Applications and Research Challenges*. Turim, Itália, 2008

Thamm, H.P.; Judex, M. *The “low cost drone” – an interesting tool for process monitoring in a high spatial and temporal resolution* ISPRS Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes", Enschede, the Netherlands, 8-11 May 2006

Yamauchi, B; Rudakevych, P. *Griffon: A Man-Portable Hybrid UGV/UAV*. Industrial Robot, vol. 31, no. 5, pp. 443-450, Massachusetts. 2004

Kuhnert, K.D.: Institute of Real-Time Learning Systems, University of Siegen, Germany

<http://www.jusbrasil.com.br/politica/4783733/forca-aerea-vai-avaliar-uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-no-brasil> - acessado em 06/07/2010