

# Projeto VANT: desenvolvimento de um teste para elaboração de uma bomba teleguiada por GPS no Clube de Guerra Eletrônica da Academia da Força Aérea

*UAV Project: development of a test for the elaboration of a GPS-guided bomb in the Electronic Warfare Club of the Air Force Academy*

*Proyecto VANT: desarrollo de una prueba para elaborar una bomba teleguiada por GPS en el Club de Guerra Electrónica de la Academia de la Fuerza Aérea*

Lucas Luiz de Ávila<sup>I</sup>

Bruno Eduardo Teixeira<sup>II</sup>

Simon Skarabone Rodrigues Chiacchio<sup>III</sup>

Adriano Rogério Bruno Tech<sup>IV</sup>

## RESUMO

O Projeto VANT, do Clube de Guerra Eletrônica (CGE) da Academia da Força Aérea (AFA), foi, inicialmente, concebido para motivar, os cadetes integrantes do clube, quanto ao desenvolvimento de sistemas operacionais de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Dessa forma este artigo sugere a aplicação deste PROJETO em um aeromodelo elétrico controlado por um microcontrolador. Neste contexto o aeromodelo utilizado foi o BIXLER2 da *Hooby King* e o micro-controlador, uma placa ARDUINO UNO. Com esses materiais, propôs-se utilizar o aeromodelo no lançamento simulado de um artefato embarcado em uma aeronave, guiado pelo Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) para aterragem em um ponto predeterminado (alvo). Simulando uma bomba inteligente, pôde-se concluir positivamente o desafio do projeto por meio dos resultados conseguidos pelas diferentes missões e verificado pelo percurso desenvolvido e mapeado em uma aeronave T-27 Tucano, da AFA.

**Palavras-chave:** VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

## ABSTRACT

*The UAV Project of the Air Force Academy (AFA) Electronic Warfare Club (CGE) was originally designed to motivate cadets enrolled in the club to develop operating systems for an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Therefore, this article suggests the application of this PROJECT in an electric model aircraft controlled by a microcontroller. In this context the model aircraft used was the Hooby King BIXLER2 and the micro-controller, an ARDUINO UNO board. With these materials, it was proposed to use the model aircraft in the simulated launch of an aircraft-based artifact, guided by the Global Positioning System (GPS) for landing at a predetermined point (target). Simulating a smart bomb, the challenge of the project could be positively concluded through the results achieved by the different missions and verified by the course developed and mapped in an AFA's T-27 Tucano aircraft.*

**Keywords:** UAV. ARDUINO UNO. GPS. Smart bomb.

I. Academia da Força Aérea (AFA) – Pirassununga/SP – Brasil. Cadete Aviador do 4º Esquadrão. E-mail: lucasavila29@gmail.com

II. Academia da Força Aérea (AFA) – Pirassununga/SP – Brasil. 1º Tenente de Magistério (Física). Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP) – São Carlos/SP. E-mail: br\_edu@hotmail.com

III. Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA) – Guarulhos/SP – Brasil. 1º Tenente Administrador. Pós-Doutor pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA/USP) – Ribeirão Preto/SP. E-mail: skarabone@usp.br

IV. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP) – Pirassununga/SP – Brasil. Professor Livre-Docente do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão e Inovação na Indústria Animal da FZEA/USP. E-mail: adriano.tech@usp.br

Recebido: 02/08/2016

Aceito: 16/11/2017

## RESUMEN

*El proyecto VANT, del Club de Guerra Electrónica (CGE) de la Academia de la Fuerza Aérea (AFA), fue inicialmente concebido para motivar, los cadetes integrantes del club, en cuanto al desarrollo de sistemas operativos de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). De esta forma este artículo sugiere la aplicación de este PROYECTO en un aeromodelo eléctrico controlado por un microcontrolador. En este contexto el aeromodelo utilizado fue el BIXLER2 de Hooby King y el microcontrolador una placa ARDUINO UNO. Con estos materiales, se propuso utilizar el aeromodelo en el lanzamiento simulado de un artefacto embarcado en una aeronave, guiado por el Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System - GPS) para aterrizaje en un punto predeterminado (objetivo) Simulando una bomba inteligente, se pudo completar positivamente el desafío del proyecto por los resultados obtenidos por las diferentes misiones y verificado por la ruta asignada y desarrollada en una aeronave Tucano T-27, de AFA.*

**Palabras-clave:** VANT. ARDUINO UNO. GPS. Bomba inteligente.

## 1 INTRODUÇÃO

O Clube de Guerra Eletrônica (CGE) da Academia da Força Aérea (AFA) surgiu no ano de 2010 com o objetivo de estudar os conceitos de Guerra Eletrônica e suas aplicações na Força Aérea Brasileira (FAB), bem como introduzir na formação do oficial aviador, intendente e de infantaria conhecimentos quanto às inovações tecnológicas em operações na FAB. Dentre os vários assuntos discutidos, há bastante interesse dos integrantes do clube no desenvolvimento dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).

Com essa motivação, foi idealizado um projeto no CGE denominado Projeto VANT, com o objetivo de possibilitar aos cadetes o desenvolvimento e aplicação de um VANT entre uma das atividades do Corpo de Cadetes da Aeronáutica (CCAer).

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) define VANT ou UAV como:

Veículo aéreo motorizado que não transporta um operador humano, usa forças aerodinâmicas para a sustentação aérea, pode voar de maneira autônoma ou ser pilotado por controle remoto, pode ser descartável ou recuperável e pode transportar uma carga útil letal ou não letal. (VANE, 2006, p. 9).

De acordo com Cianflone (2011), o VANT é um tipo de aeronave sem piloto que pode voar

de forma autônoma e remotamente controlada, em ações de monitoramento, reconhecimento e vigilância, entre outras. Sua principal vantagem em relação aos demais veículos é a capacidade de realizar ações táticas de inteligência sem colocar vidas humanas em risco.

Essas duas definições exprimem a versatilidade das missões realizadas por uma aeronave autônoma, sendo que a grande relevância desse tipo de aeronave é a possibilidade de preservar o recurso humano, principalmente quando se trata de uma missão de guerra.

A aplicabilidade do VANT abrange a esfera civil e a militar, principalmente, em monitoramento, reconhecimento e vigilância (ALBANO, 2008).

No âmbito militar, a campanha do Afeganistão chamou a atenção porque lá os VANT realmente começaram a atacar alvos, além de buscarem informações. Já no âmbito civil, na tríplice fronteira (Brasil, Argentina e Paraguai), no sul do país, a Polícia Federal opera VANT israelenses, adquiridos para o combate ao tráfico e ao contrabando (CIANFLONE, 2011). Sendo assim, é de suma importância que o cadete da aeronáutica conheça sistemas e tecnologias que possibilitem equilibrar o potencial das Forças Armadas do Brasil frente às demais, principalmente, considerando que a FAB é alicerçada na tecnologia, tanto embarcada quanto terrestre.

Com a utilização desse tipo de aeronave na FAB será possível preservar os recursos humanos, expandir diversas áreas do conhecimento e adquirir independência tecnológica de outros países, bem como estar adaptado às novas demandas de mercado.

O Projeto VANT, do CGE, não foi concebido de forma prática, mas apenas teórica, e desde 2010 nenhum trabalho ou pesquisa foi desenvolvido com a finalidade de se tornar possível e viável este projeto. Alguns pesquisadores da área iniciaram no ano de 2011 trabalhos e projetos que tinham o objetivo de desenvolver essa vertente na AFA.

Para o desenvolvimento deste tipo de aeronave é preciso aplicar conceitos da eletrônica digital e computação, considerando que a aeronave será um robô programado e realizará uma determinada missão ou tarefa. Por isso, além de voar, ela terá de desempenhar uma determinada função operacional (ALBANO, 2008).

A proposta deste trabalho é abordar soluções para o desenvolvimento do Projeto VANT, do CGE, complementando os conhecimentos já adquiridos na Divisão de Ensino (DE) da AFA, em eletrônica

digital e computação por meio da tecnologia aberta (*Open Source*) ARDUINO e sobre diversos sensores capazes de manter um aeromodelo elétrico em voo autônomo planado de forma estável, e controlado por um sistema de navegação embarcado. Com isso se propõe a aplicação de um teste para o desenvolvimento futuro de uma bomba inteligente guiada pelo Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS).

Procurou-se também analisar e aplicar meios viáveis para o desenvolvimento da estabilidade de voo planado de um aeromodelo elétrico para aterragem autônoma em um ponto predeterminado (alvo), simulando o emprego de um artefato lançado de uma aeronave e guiado pelo GPS.

## 1.2 Materiais e método

O modelo de um aeroplano é uma versão reduzida de um aeroplano em seu tamanho normal. Os modelos e os objetos em seu tamanho normal têm os mesmos tipos de relação entre os comprimentos de suas diferentes partes. [...] Um modelo é apenas um meio de transferir alguma relação de sua forma real para outra forma. (BOLTON, 1993, p. 4).

Conforme Bolton (1993), a diferença entre um aeromodelo e um avião de tamanho real está apenas na escala. Por isso é válido considerar um aeromodelo similar a um avião que possa ser pilotado adequadamente, em um ambiente experimental.

Nos finais de semana, há operações de planadores na pista do setor leste da AFA, pista 02R (Cabeceira 02 direita)/pista 20L (Cabeceira 20 esquerda), sendo esta operação coordenada pelos próprios cadetes pertencentes ao Clube de Voo a Vela (CVV) e supervisionada pela Divisão de Instrução de Voo (DIV).

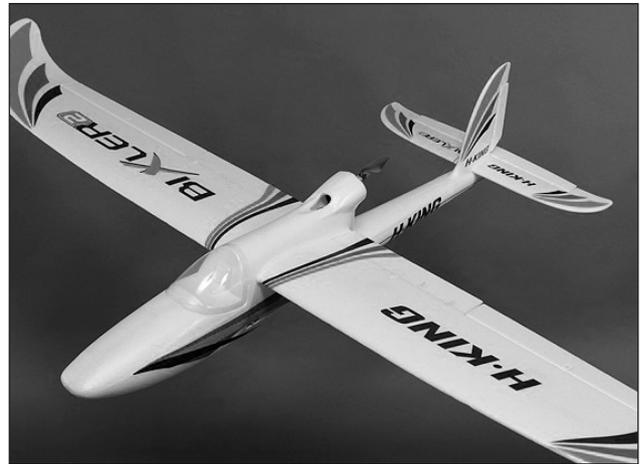
O modelo de planador pode ser desprovido de motor e sua razão de planeio é que representa sua eficiência aerodinâmica. Essa razão é, em média, muito mais elevada que a de um avião convencional, sendo que umas das vantagens de um planador está na suavidade da pilotagem e na estabilidade do voo.

Assim como há aeromodelos de aviões convencionais, também há modelos de planadores. Como exemplo pode-se citar o aeromodelo BIXLER2 da *Hooby King* (Figura 1). Esse modelo tem as mesmas características aerodinâmicas de um planador. Suas asas são longas e sua estrutura é de isopor para reduzir a massa, porém, diferentemente dos planadores pilotados pelos cadetes no CVV, esse aeromodelo está equipado com um motor para possibilitar sua ascensão.

<sup>1</sup> Parte frontal da aeronave.

<sup>2</sup> Parte traseira da aeronave.

Figura 1 – BIXLER2 da *HoobyKing*.



Fonte: Toywing... (2013).

O BIXLER2 é equipado com quatro servomotores para controle de suas superfícies de comando, um para cada aileron, um para o profundor e um para o leme, sendo também equipado com *flaps*, os quais são atuados por servomotores independentes. De acordo com esta pesquisa, a operação do motor e dos *flaps* estará sempre a comando do operador via rádio controle.

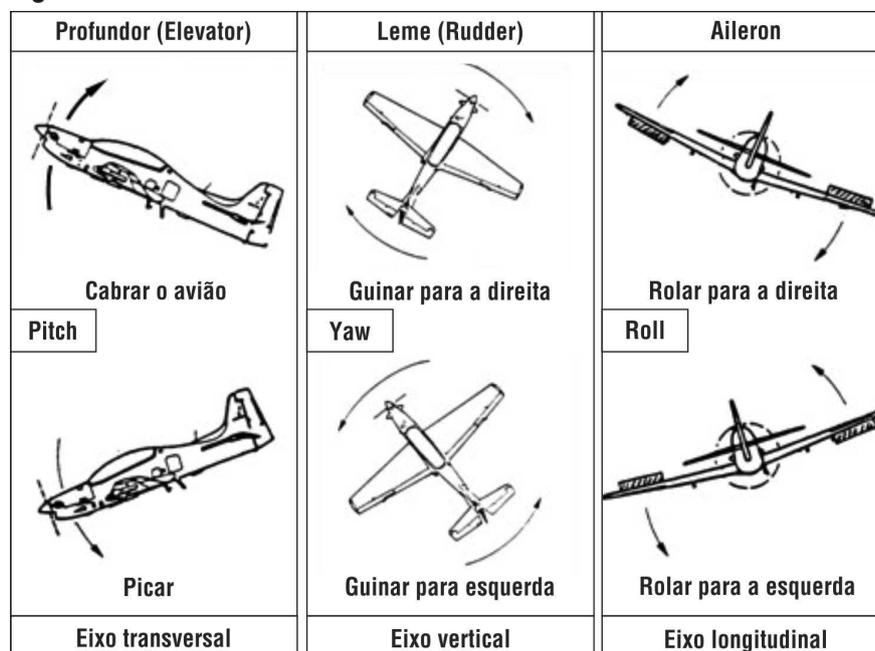
Os eixos de controle de um avião ou de um aeromodelo são: longitudinal, transversal e vertical. Todos controlados pelas respectivas superfícies de comando primárias ailerons, profundor e leme. Todo avião é controlado por essas superfícies e assim se tem movimento em todas as direções possíveis.

Para entender melhor os eixos de uma aeronave, há a especificação do movimento de cada eixo, conforme Figura 2.

No eixo transversal, o avião levanta ou abaixa o seu nariz<sup>1</sup> pelo movimento do profundor. Quando este é defletido para cima cria uma força aerodinâmica para baixo, deslocando o nariz para cima, quando defletido para baixo, ocorre o inverso. Esse movimento é chamado de arfagem ou *pitch* e determina a atitude do avião em relação ao horizonte. Esse eixo altera o ângulo de ataque das asas, componente vital da sustentação.

No eixo vertical, o nariz do avião gira no sentido horizontal, da direita para a esquerda e vice-versa. Esse movimento ocorre pela atuação do leme. Quando este é defletido para a direita cria uma força aerodinâmica na cauda<sup>2</sup> para a esquerda, deslocando o nariz da aeronave para a direita e quando defletido para a esquerda, ocorre o contrário. Este movimento é chamado de guinada

**Figura 2** – Eixos de movimentos de uma aeronave.



Fonte: Toywing... (2013).

ou *yaw*. Por meio do leme se corrige a coordenação da aeronave devido ao vento relativo, bem como, é a superfície responsável pela manutenção da proa da aeronave.

No eixo longitudinal, o avião gira em torno da linha imaginária que interliga o nariz à cauda pelo movimento alternado dos ailerons. A asa que deflete o aileron para cima diminui sua sustentação e a asa que deflete o aileron para baixo a aumenta, assim ocorre o movimento de rolagem ou *roll*.

Vale ressaltar que os ailerons, profundor e leme são superfícies de comando primárias, pois atuam diretamente na resultante das forças aerodinâmicas do avião, modificando sua trajetória, atitude e coordenação.

No aeromodelo BIXLER2 a atuação das superfícies de comando se processa como explicado anteriormente, entretanto, para o cumprimento do objetivo, esse modelo deverá desenvolver um voo planado.

O voo planado é caracterizado quando o avião é impulsionado por uma força resultante entre a sustentação, o peso e o arrasto, sendo a sustentação menor que o peso (CAROLINE, 2007). Essa definição orienta o voo analisado neste trabalho.

De acordo com as regras de voo por instrumentos, a razão de descida de uma aeronave deverá ser de 500 ft/min a 1000 ft/min ou 2,54 m/s a 5,08 m/s, as quais serão utilizadas neste trabalho. No entanto a razão ideal de descida deverá ser verificada considerando os aspectos aerodinâmicos do aeromodelo BIXLER2 com

os equipamentos do *kit* controlador embarcados, que implica em uma massa maior do aeromodelo.

### 1.2.1 Etapas do roteiro dos testes

a) Etapa I: verificar o código e carregá-lo no ARDUINO

O código carregado no ARDUINO é o **Piloto\_1**, que possui na sua função *loop* uma sequência de condições que transformam as variações de rolagem e de arfagem em sinais digitais para controlar todos os quatro servomotores (BANZI, 2011). Nesse código é necessária a inclusão da biblioteca **<Servo.h>**, responsável pela funcionalidade dos servomotores.

b) Etapa II: analisar a atuação do sensor MMA8542Q

Antes de se montar o aeromodelo é preciso colocar todos os servomotores na posição neutra, ou seja, o eixo a 90 graus (Figura 3). Nesse intento, foi elaborado um código para determinar o ângulo de 90 graus e instalar o braço mecânico do servo. O código usado foi o **CALIBRAR\_90**.

Com os servos na posição neutra, foi realizado um teste com os quatro servomotores para se verificar a amplitude máxima que seria usada no aeromodelo. Como resultado, verificou-se que a variação adequada para a utilização foi de  $\pm 55$  graus para mais ou para menos, ou seja, 55 graus para cima ou para baixo.

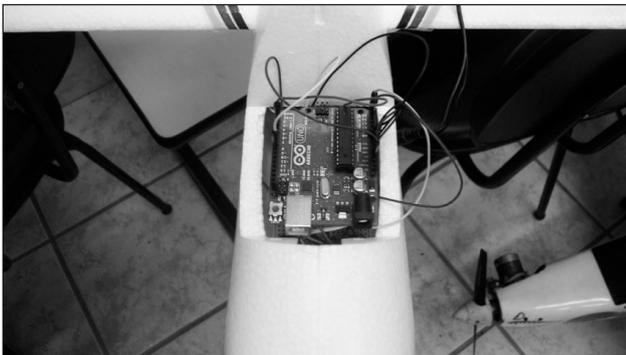
Ao montar os servomotores nas superfícies de comando, verificou-se que a atuação dos motores foi suave, coordenada e de acordo com a correção necessária para se manter um voo com as asas niveladas. Com isso a montagem do aeromodelo foi finalizada com sucesso.

**Figura 3** – Calibração<sup>3</sup>.

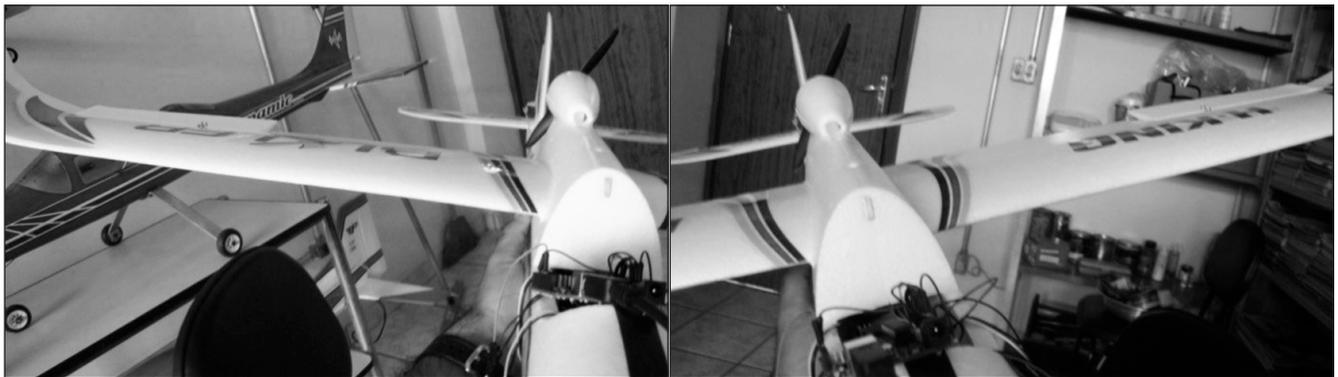
Fonte: O autor.

c) Etapa III: instalar o ARDUINO e o sensor MMA8452Q no aeromodelo

Durante a montagem do aeromodelo *BIXLER* da *Hobby King* foi possível adaptar a *protoboard* dentro do aeromodelo em um compartimento que seria utilizado para colocar a bateria (Figura 4). Vale ressaltar que a manutenção do Centro de Gravidade (CG) foi levada em consideração. Dessa forma, é possível preservar o equipamento embarcado, caso ocorra uma queda inesperada do aeromodelo.

**Figura 4** – Instalação do ARDUINO/MMA8452Q no BIXLER.

Fonte: O autor.

**Figura 5** – Atuação dos ailerons.

Fonte: O autor.

d) Etapa IV: verificação, em solo, da tendência de correção dos servomotores nas superfícies de comando.

Após montar o aeromodelo e instalar o conjunto controlador no interior do BIXLER, verificou-se que as superfícies de comando, ailerons (Figura 5) e profundor buscavam a estabilidade de voo por meio das asas e profundor, entretanto o leme não atuou como o esperado, pois o eixo Z do *chip* MMA8452Q, responsável pela leitura da variação no entorno do eixo vertical é o eixo referência do *chip*. Com respeito à variação da força da gravidade e à atuação no leme de direção só se faz quando aplicado um impulso vertical ao aeromodelo, sendo isso impraticável durante um voo planado.

O resultado atendeu as expectativas satisfatoriamente, já que o leme pode ser desconsiderado, visto que para a estabilidade de voo os ailerons mantêm a aeronave com as asas niveladas e o profundor atua no ângulo de ataque, o qual é indispensável pela manutenção da sustentação.

A fonte externa utilizada é a bateria *lithium polymer* (LiPo) do aeromodelo BIXLER e, para converter os 11,1 V com 1800 mAh para 5,0 V com 500 mAh, foi instalado um regulador de tensão do *ARDUPILOT* no sistema de alimentação do ARDUINO UNO.

Como fonte de alimentação do aeromodelo foi utilizada uma bateria do tipo *lithium polymer* (LiPo) de três células (3S), que apresenta 11,1 V de tensão nominal com uma corrente de 1800 mAh. Para a alimentação do ARDUINO UNO, foi necessária a utilização de um regulador de tensão do *ARDUPILOT*.

Quanto à velocidade das respostas das superfícies de comando às mudanças de atitude do aeromodelo, foi verificado que é possível obter correções em um voo no ambiente de forma adequada e suave, sendo que a atuação dos servos é diretamente proporcional à velocidade de mudança de atitude.

<sup>3</sup> Calibração, nesse contexto, está sendo utilizado para se determinar a posição neutra dos servomotores, diferente da definição de calibração descrita no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) (BRASIL, 2012).

Analisando os resultados obtidos, percebeu-se que o MMA8452Q realmente cumpriu o objetivo de ler as variações dos eixos e que o ARDUINO executou, conforme o código estabelecido, a tradução das leituras em PWM, aplicando-se nos eixos dos servomotores, os respectivos ângulos.

Como já mencionado, não foi possível atuar no leme, pois a variação do eixo vertical no sensor não é angular, mas varia apenas em intensidade devido à condição de o MMA8452Q ser um acelerômetro e depender da força da gravidade, a qual é orientada no mesmo sentido do eixo vertical. Com isso, no teste verificou-se a necessidade de se utilizar outro sensor capaz de atuar nesse eixo.

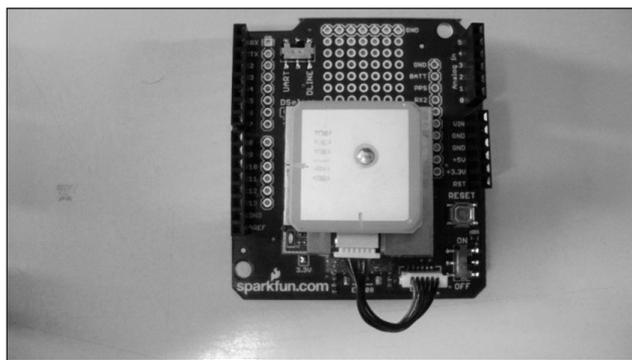
Como solução optou-se pela utilização do módulo GPS EM-406A como controle de guinada, visto que é possível manter uma proa ideal para um ponto predeterminado pelos dados do GPS.

### 1.2.2 Módulo GPS EM-406A

Este módulo, que é fabricado pelo USGLOBALSAT baseado no *chipset SIRF STARIII* e distribuído pela *Sparkfun*, contém um *led* para indicar o status de energização e outro para indicar a operação de recepção de sinais satélites, devendo este permanecer piscando para indicar a recepção desses sinais.

Para a operação com a placa ARDUINO UNO, utiliza-se uma placa *Shield* como demonstrado na Figura 6.

**Figura 6** – Shield GPS EM-406A.



Fonte: O autor.

### 1.2.3 Sistema GPS

O Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) ou *Navigation Satellite with Time And Ranging* (NAVSTAR-GPS) é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo *Department Of Defense* (DoD – Departamento de Defesa dos Estados

Unidos da América), que visa ser o principal sistema de navegação do exército americano. Em razão da alta exatidão proporcionada pelo sistema e do alto grau de desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu nas mais variadas aplicações civis (PEREIRA, 2007).

Após um acidente aéreo ocorrido na Coreia em 1983, com 269 vítimas, devido a uma interceptação e abate de uma aeronave comercial que voava em um espaço aéreo proibido, por um caça soviético, provavelmente devido a um erro de navegação, o Presidente Ronald Reagan anunciou que o GPS estaria disponível para uso civil. Em 1996, o Presidente Bill Clinton declarou oficialmente o GPS para uso dual, civil e militar, e criou a Agência Internacional de Gestão Executiva do GPS.

O GPS é formado por uma constelação de 24 (vinte e quatro) satélites em órbita na Terra. A distribuição desses satélites é dividida em 6 (seis) planos de órbita com 4 (quatro) satélites em cada uma e essa arquitetura permite a recepção simultânea de sinais de 7 (sete) satélites em qualquer posição do planeta.

Para a determinação da posição, o receptor GPS necessita receber sinais de onda eletromagnética de 3 (três) satélites, no mínimo, para ter condições de realizar uma trilateração do tempo de recepção desses sinais, obtendo assim sua posição no espaço. A posição GPS corresponde à intersecção dos sinais dos satélites, sendo possível determiná-la de forma tridimensional, ou seja, pela latitude, longitude e altitude.

Para o funcionamento do receptor GPS existem dois protocolos que codificam as informações de posição transportadas pelas ondas eletromagnéticas em caracteres específicos, formando, assim, um padrão de linguagem. Esses protocolos são o NMEA 0183 da *National Marine Electronics Association* e o GARMIN, sendo este uma modificação do primeiro.

O protocolo de comunicação é, basicamente, um padrão de linguagem entre componentes eletrônicos, que viabiliza a interpretação de elementos físicos, como ondas, pressão ou temperatura em pulsos elétricos caracterizados por bits, devido à linguagem binária.

O protocolo de comunicação NMEA 0183 é utilizado pela maioria dos aparelhos GPS. É baseado em ASCII e transmitido serialmente. Segundo esse protocolo, a comunicação é feita por mensagens que seguem normas estabelecidas pela NMEA. Segundo Karasinski (2009, p. 37):

ASCII é uma sigla para “American Standard Code for Information Interchange” (Código Padrão Norte-Americano para Intercâmbio de Informações). Esse código foi proposto por Robert W. Bemer, visando padronizar os códigos para caracteres alfa-numéricos (letras, sinais, números e acentos). Assim seria possível que computadores de diferentes fabricantes conseguissem entender os códigos. O ASCII é um código numérico que representa os caracteres usando uma escala decimal de 0 a 127. Esses números decimais são então convertidos pelo computador para binários e ele processa o comando. Sendo assim, cada uma das letras que você digitar vai corresponder a um desses códigos.

Atualmente, esse sistema é indispensável para navegação aérea, terrestre ou submarina devido a sua confiabilidade e exatidão.

## 2 COLETA DE RESULTADOS COM CARTÃO MICRO-SD

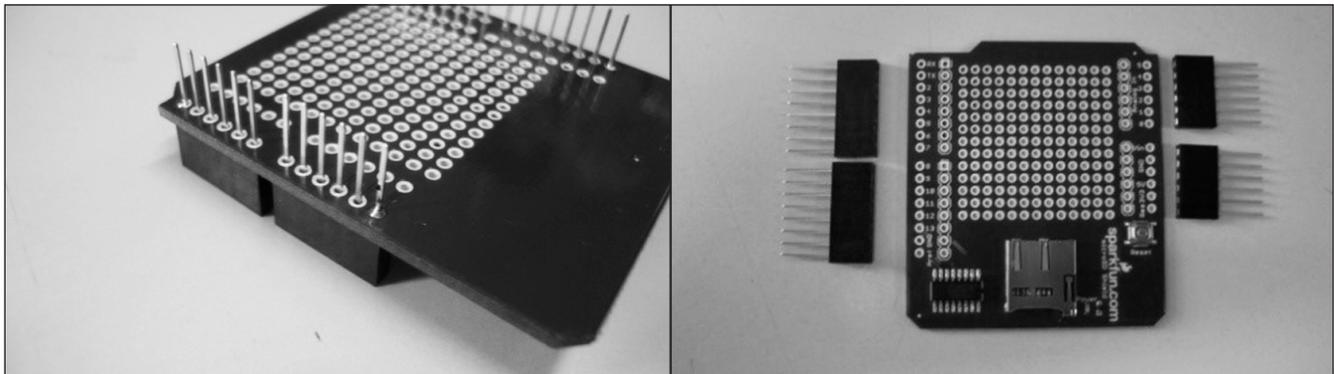
O roteiro de testes contemplou apenas o sensor do MMA8452Q responsável pela estabilidade de voo. Para os sensores EM-406A e BMP085, o teste deveria ser aplicado em condições de voo real. Para isso, embarcou-se o microcontrolador ARDUINO com o módulo GPS EM-406A em uma aeronave T-27 Tucano, da AFA.

Como não há nenhum *display* acoplado ao módulo acima citado, foi necessário utilizar uma forma alternativa de gravação dos dados GPS, por meio de uma placa impressa *Shield* Micro-SD (Figura 7), permitindo-se assim que o ARDUINO gravasse os dados.

A *Shield* Micro-SD possui a mesma pinagem do ARDUINO, assim como a *Shield* EM-406A. As *Shields* são usadas para acoplar diversos sensores no ARDUINO sem isolar os pinos do ARDUINO que serão utilizados por outros sensores.

Conforme Pereira (2007), é criado um percurso mapeado no *Google Earth* por meio dos dados GPS coletados. Considerando essa publicação como referência, a gravação dos dados GPS se fez por meio de um cartão de memória Micro-SD. Para a utilização deste cartão, é necessário obter a biblioteca <SD.h>.

Figura 7 – Shield Micro-SD.

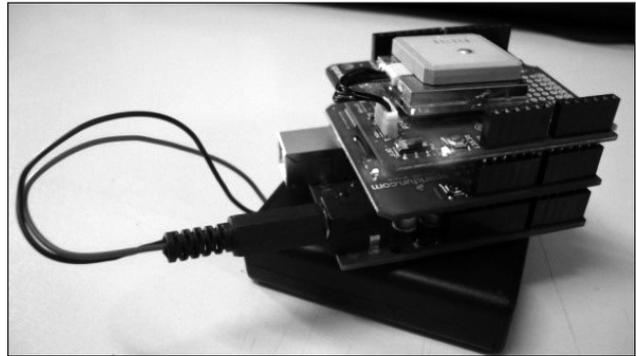


Fonte: O autor.

Segundo Aloï (2012), o protocolo de comunicação desse cartão é o SPI de interface ISP, que não suporta cartões com mais de 4 gigabytes. Para a inicialização do cartão, é necessário enviar um byte para o cartão e verificar se o mesmo é gravado, caso contrário, o cartão não funcionará.

Para este trabalho foi adquirido uma *Shield* Micro-SD da *Sparkfun*, conforme mostrado na Figura 7. Após a montagem o ARDUINO é equipado com as duas *Shields*, Micro-SD e EM-406, conforme Figura 8.

Figura 8 – ARDUINO com Micro-SD e EM-406A.



Fonte: O autor.

O teste deste *kit* foi realizado em um voo na aeronave T-27 Tucano em uma missão de voo por instrumentos do curso avançado de Oficiais Aviadores no 1º Esquadrão de Instrução Aérea (1º EIA). A missão realizada tem o objetivo de capacitar os cadetes aviadores do 4º Esquadrão da AFA a realizarem procedimentos de aproximação por instrumentos. Esse teste teve o objetivo de verificar a gravação dos dados GPS em cartão Micro-SD por meio do ARDUINO, de acordo com classificação descrita por Gamboa (2008).

O código elaborado especificamente para este trabalho tem a função de dar instruções ao ARDUINO de como realizar as leituras dos sinais GPS e gravá-las em um arquivo com extensão CSV em Excel. Na Tabela 1, é possível verificar os dados coletados em voo, bem como indicadores que geraram o percurso executado.

**Tabela 1** – Dados do voo com a aeronave T-27 Tucano, da AFA.

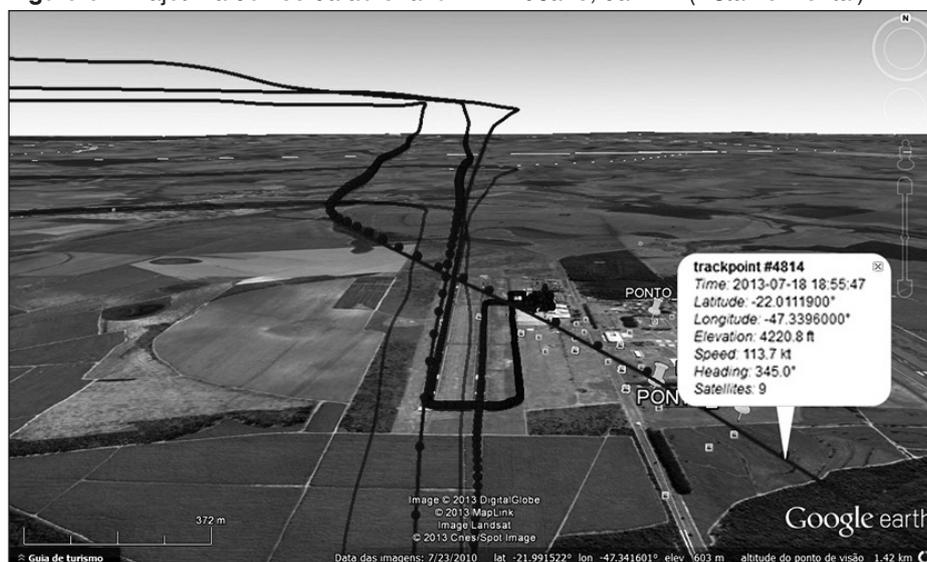
hour	minute	second	latitude	longitude	speed	day	month	year	altitude	course	satellites
17	36	28	-21.98113	-47.33849	-1.00	0	0	2000	618.60	1000.00	4
17	36	29	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	619.60	1000.00	4
17	36	30	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.10	1000.00	4
17	36	31	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	620.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	-1.00	0	0	2000	621.60	1000.00	4
17	36	32	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.00	12.67	4
17	36	33	-21.98112	-47.33848	0.17	18	7	2013	621.40	12.67	4
17	36	34	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.60	12.67	4
17	36	35	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	621.80	12.67	4
17	36	36	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.10	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.17	18	7	2013	622.20	12.67	4
17	36	37	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.20	15.17	4
17	36	38	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.30	15.17	4
17	36	39	-21.98112	-47.33849	0.20	18	7	2013	622.50	15.17	4
17	36	40	-21.98112	-47.33850	0.20	18	7	2013	623.90	15.17	4
17	36	42	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	1000000.00	192.49	255
17	36	43	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.00	192.49	4
17	36	44	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.30	192.49	4
17	36	45	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.50	192.49	4
17	36	46	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.70	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33850	0.80	18	7	2013	623.80	192.49	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	623.80	347.72	4
17	36	47	-21.98113	-47.33851	0.07	18	7	2013	624.00	347.72	4

Fonte: O autor.

Esses dados são manipulados no *site* específico para obtenção de um arquivo de extensão KMZ. Consultado esse arquivo KMZ no *Google Earth* é possível visualizar

a trajetória com dados de posição geográfica, velocidade, proa, altitude, data e hora, conforme se pode verificar na Figura 9.

**Figura 9** – Trajetória de voo da aeronave T-27 Tucano, da AFA (vista horizontal).



Fonte: O autor.

Na Figura 10 também é possível acompanhar os trabalhos desenvolvidos com o sistema. Por estas imagens percebe-se a importância da utilização de um Micro-SD na verificação da trajetória realizada pelo aeromodelo para analisar a manutenção da rampa de descida do voo planado sob uma perspectiva 3D, bem como é possível verificar, ponto a ponto, dados de velocidade, proa, altitude, posição geográfica, etc.

Também é possível criar um banco de dados com as missões realizadas e, assim, é possível aperfeiçoar os processos de programação do ARDUINO, aumentando-se a exatidão do voo com respeito à rampa e ao pouso no alvo.

Com esses procedimentos e materiais é possível planejar missões com diferentes vertentes de execução e prática, sendo uma delas esta que foi proposta para mapeamento e atingimento de alvo predefinido. Por fim, é possível aprimorar e aplicar a missão com material explosivo, levando-se em conta, por exemplo, a aplicação de bomba guiada (CASTRO, 2013).

### 3 CONCLUSÃO

O Projeto VANT é uma considerável iniciativa do CGE em motivar os cadetes ao desenvolvimento científico, bem como desenvolver a possibilidade de colocar em prática os conhecimentos adquiridos. Para tornar um simples aeromodelo elétrico em um VANT na sua concepção completa, são necessários pesquisa e desenvolvimento. Este trabalho foi desenvolvido somente no sistema de aterragem de um VANT aplicado

na simulação de um artefato lançado de uma aeronave, para que possa tocar o solo no ponto predeterminado, como descrito.

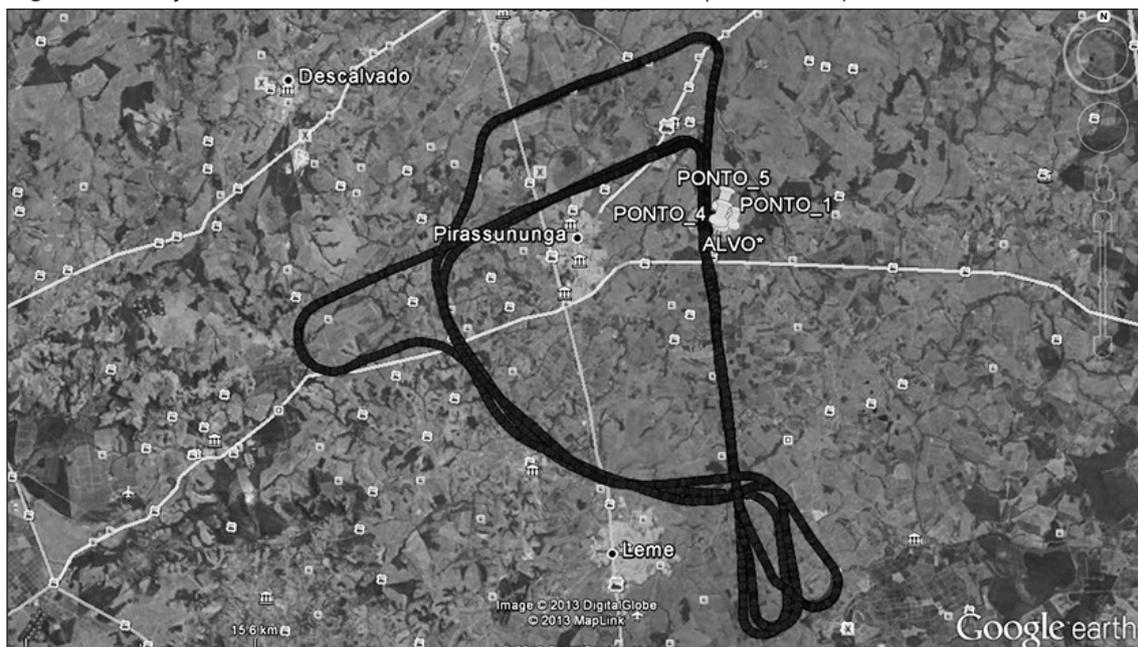
Para isso, a utilização de microcontroladores em processo de automação é a possibilidade que o CGE tem para aplicar os conhecimentos teórico dos cadetes. Entre os vários microcontroladores encontrados no mercado atualmente, optou-se pela utilização da tecnologia ARDUINO, pois se trata de um microcontrolador aberto ao desenvolvimento. Ao embarcar esse microcontrolador em um aeromodelo elétrico foi possível desenvolver um VANT, mesmo que de forma inicial para o trabalho experimental.

Para a realização do trabalho foi necessária a utilização de sensores com a capacidade de perceber variações ambientais afetas ao voo, como variações de altitude, distância, velocidade e proa, considerada uma navegação curta balizada pelo sistema GPS.

Neste trabalho os sensores têm o papel decisivo na manutenção do voo planado, bem como na navegação do aeromodelo BIXLER2. A comunicação entre microcontrolador e sensores foi desenvolvida na linguagem C/C++. Assim os resultados são os dados coletados em um cartão Micro-SD, os quais permitem o aperfeiçoamento da metodologia aplicada neste projeto, com vistas a melhores resultados em projetos futuros do CGE.

Este trabalho de campo é um passo importante para os novos trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na AFA no que tange a temática e à aplicação prática de VANT.

**Figura 10** – Trajetória de voo da aeronave T-27 Tucano, da AFA (vista vertical).



Fonte: O autor.

## REFERÊNCIAS

ALBANO, L. H. **Sistema de identificação de células**. 2008. 68f. Monografia (Engenharia da Computação) - Universidade Positivo, Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.leandrohsouza.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2013.

ALOI, R. **Curso Arduino Advanced - Aula 21 (SD CARD)**. Vídeo aula. 2012. Disponível em: <<http://www.youtube.com/user/graccula>>. Acesso em: 26 maio 2013.

BRASIL. **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim\\_2012.pdf](http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2017.

BANZI, M. **Primeiros passos com Arduino**. [Tradução Rafael Zanolli]. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

BOLTON, W. **Engenharia de controle**. Tradução Valceres Vieira Rocha e Silva. São Paulo: Makron Books, 1993.

CAROLINE, A. **Como elaborar um roteiro de testes**. Grupo de testadores de Software. 2007. Disponível em: <<http://gtsw.blogspot.com.br>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

CASTRO, F. **Bombas Guiadas SMKB – Acauã**. Disponível em: <<http://sistemasdearmas.com.br/pgm/smkb.html>>. Acesso em: 27 ago. 2013.

CIANFLONE, R. **Vants a nova tendência em aeronaves**. Disponível em: <<http://www.aereo.jor.br/2011/06/15/vants-a-nova-tendencia-em-aeronaves/>>. Acesso em: 27 ago. 2011.

GAMBOA, P. V. **Subida e descida**. Mecânica de voo I – 7631. 2008. Disponível em: <<http://webx.ubi.pt>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

KARASINSKI, E. **Novas tecnologias: jogos interativos**. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/webcam/2394-novas-tecnologias-jogos-interativos.html>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

PEREIRA, L. A. **Atualização da rede GPS de São Carlos e a avaliação do método PPP em comparação com o ajustamento de redes geodésicas**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

TOYWING tudo sobre aeromodelo. Disponível em: <<http://www.toywing.com.br/>>. Acesso em: 23 maio 2013.

VANE, J. C. de. **Applicability of unmanned aerial systems to homeland defense missions**. 2006. 101 p. Master's Thesis - Naval Postgraduate School – NPS, Monterey, CA, 2006, p. 9-10.