

# Desenvolvimento de uma Aeronave VTOL de Baixo Custo do Tipo Quadrirrotor

Michael Klug<sup>1</sup>, João Vithor Driessen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas pela UFSC, Campus Joinville, michael.klug@ifsc.edu.br

<sup>2</sup> Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Técnico em Eletroeletrônica, aluno de graduação do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, j.vithor.d@hotmail.com

## RESUMO

Neste trabalho aborda-se o desenvolvimento e a construção de uma aeronave de decolagem e pouso vertical (VTOL, do inglês *Vertical Take-off and Landing*) do tipo quadrirrotor. Essa topologia se destaca pelas propriedades de manobrabilidade e é comumente utilizada em aplicações como monitoramento, inspeção remota, mapeamento, entre outras. Para a construção do frame, optou-se pela utilização de materiais de baixo custo, objetivando a popularização deste tipo de tecnologia. Resultados são apresentados com intuito de demonstrar o funcionamento do dispositivo construído.

**Palavras-Chave:** Aeronaves VTOL, Quadrirrotores, VANTs, Controladores.

## Introdução

Os Veículos Aéreos Não Tripulados - VANTs, do inglês *Unmanned Aerial Vehicles* – *UAVs*, têm se tornado muito populares nas últimas décadas, principalmente por demonstrarem capacidade de enfrentar situações em que, por alguma razão, o objetivo da missão não seja a mais aconselhada para uma aeronave de pilotagem convencional. Dentre a sua utilização, encontram-se aplicações tanto militares quanto civis (SALIH *et al.*, 2010), as quais podem-se citar: busca e resgate, inspeção remota, mapeamento, vigilância, entre outras (BRESCIANI, 2008 e COSTA, 2008). Das diversas configurações utilizadas, destaca-se o uso de quadrirrotores, sendo basicamente sistemas que fazem uso de quatro rotores para gerar seus movimentos. Como um helicóptero, quadrirrotores têm vantagens evidentes sobre outras aeronaves, uma vez que podem decolar e pousar em área limitada, voar em baixas velocidades e realizar voo pairado. Além disso, eles têm grande manobrabilidade, permitindo a execução de trajetórias complexas. Como são sistemas instáveis, uma forma de controle deve ser implementada, robusta o suficiente para lidar com perturbações externas (e.g., rajadas de vento), incertezas paramétricas, erros de modelagem e para que a aeronave possa voar de forma semi ou completamente autônoma (PIERI, 2002).

Nesse escopo, e considerando a importância deste tema de pesquisa no cenário atual, o projeto aqui descrito pretende o desenvolvimento de uma estrutura de baixo custo do tipo quadricóptero, com capacidade de monitoramento remoto. Como requisitos propõe-se que seja de fácil montagem e operação, contribuindo para a disseminação dessa tecnologia. A grande ideia é contribuir com o avanço em pesquisa em nível nacional na área de projeto e construção de aeronaves, ganhando importância devido aos eventos que ocorrerão nos próximos anos no Brasil.

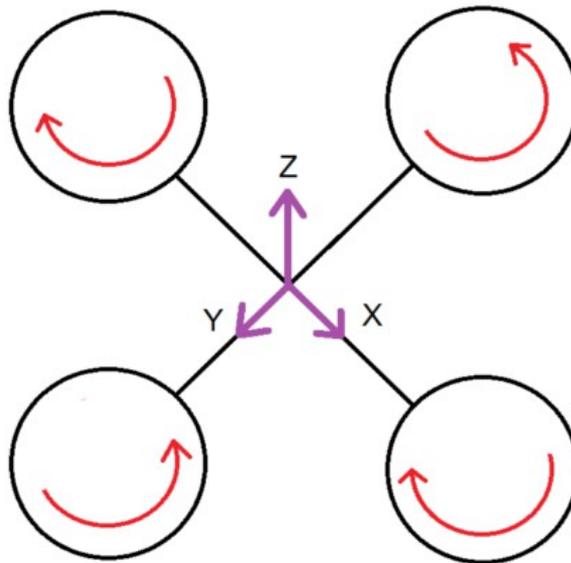
O projeto possui caráter interdisciplinar, envolvendo conhecimentos em diversas áreas, como eletrônica, microcontroladores, controle, programação, robótica, mecânica, entre outras. Assim, o desenvolvimento da pesquisa também auxiliará no processo de ensino-aprendizagem dos alunos, os quais poderão colocar em prática os conhecimentos teóricos adquiridos nas componentes curriculares, com uso tanto nos cursos técnicos quanto nos tecnológicos. E o quadricóptero poderá ainda ser apresentado em feiras e em apresentações escolares, a fim de chamar a atenção da comunidade e estimular o ingresso de novos estudantes na Instituição.

## **Metodologia**

Todo trabalho efetuado baseou-se nos passos básicos abordados em pesquisas científicas. Após intensa pesquisa literária, definiram-se os materiais/componentes empregados na construção da estrutura/frame do quadricóptero, assim como os motores, hélices, baterias e controladores de velocidade e a estabilização da aeronave, especificados nas subseções a seguir.

## **Funcionamento do Quadricóptero**

Quadricópteros são aeronaves de hélices fixas (não necessitam de soluções mecânicas para variar o ângulo dos eixos de rotação) que possuem quatro rotores de mesmas dimensões acoplados nas extremidades de uma estrutura em forma de cruz, conforme a Figura 1. Cada um dos pares em extremidades opostas gira em sentidos distintos, dessa forma o efeito giroscópico é minimizado e pode ser tratado como uma perturbação ao sistema de controle (SOUZA *et al.*, 2012).



**Figura 1** – Princípio de funcionamento

Para a movimentação, normalmente utilizam-se motores elétricos, devido à necessidade de rápida resposta aos sinais de controle. Este tipo de aeronave tenta alcançar a estabilidade de voo utilizando as forças de equilíbrio produzidas por seus quatro rotores. Cada rotor exerce uma força vertical que depende da sua velocidade, e a soma de suas forças resulta no empuxo total da aeronave. Dessa forma, a navegação pode ser obtida a partir do controle de velocidade dos motores, baseando-se nos dados advindos dos diversos sensores que são utilizados.

É importante destacar que o conceito deste tipo de aeronave não é novo, porém somente com o avanço tecnológico das últimas décadas é que sua construção tornou-se possível, como, por exemplo, o grande melhoramento na relação carga-massa das baterias e o encapsulamento de sensores (acelerômetros, giroscópios, entre outros).

### **Construção da Estrutura/Frame**

Para a construção da estrutura do quadricóptero, também denominada de frame (LELLIS, 2012 e POUNDS *et al.*, 2006), definiu-se que não seriam utilizados modelos comerciais e que todo o projeto seria realizado no IFSC/Joinville, utilizando-se de materiais e processos executados com ferramentas de fácil obtenção. Essas características devem-se à visão de obter baixo custo de desenvolvimento, permitindo também a reprodução sem utilização de dispositivos complexos, como máquinas de comando numérico - CNC.

Primeiramente, utilizando-se do *software* de CAD 3D *SolidWorks*, foi gerado um modelo da estrutura, conforme a Figura 2. Com esta modelagem foi possível dimensionar cada peça e então iniciar o processo de construção do equipamento.



**Figura 2** – Modelo em *solidworks*

A estrutura em cruz é composta por quatro tubos de fibra de carbono, material que possui excelentes propriedades mecânicas aliadas a um baixo peso, proporcionando maior durabilidade do frame e resistência a quedas, assim como maior autonomia da aeronave.

As demais peças foram construídas com placas de fibra de vidro, muito utilizadas em circuitos eletrônicos. No centro da estrutura ainda são utilizados espaçadores sextavados de cobre, que geram o espaço necessário para a inserção da bateria que alimenta a aeronave. O processo de fabricação pode ser visualizado na Figura 3.



**Figura 3** – Processo de construção do frame

A pintura das peças também foi efetuada de forma artesanal, com *spray* de tinta de cor preto fosco, conforme visto na Figura 4. Após o desenvolvimento individual das peças, iniciou-se o processo de montagem da estrutura mecânica e a verificação de encaixe. Uma vez finalizados os ajustes, todos os parafusos foram travados com a utilização de um trava roscas de média força, evitando que a vibração da estrutura em funcionamento pudesse provocar uma colisão da aeronave.



**Figura 4** – Pintura das peças

Na Figura 5 pode-se observar a estrutura mecânica final do quadricóptero, obtida com a montagem das peças construídas.



**Figura 5** – Frame final do quadricóptero

## Desenvolvimento da parte Elétrica/Eletrônica

Para a parte elétrica, optou-se pela utilização de motores *Brushless*, ideais para esse tipo de aplicação, por possuírem uma dinâmica rápida e baixa manutenção. A alimentação elétrica é efetuada por uma bateria de polímeros de *Lithium*, também denominada de LiPo (ver Figura 6). Esse tipo de bateria possui uma boa relação carga-massa e alta capacidade de fornecer corrente elétrica, o que é necessário devido aos picos que podem ser exigidos pelos motores.



Figura 6 – Motores *Brushless* e bateria Lipo

Os controladores de velocidade dos motores são modelos comerciais, facilmente encontrados em lojas de aeromodelismo. Cumpre observar que essa escolha deve-se ao fato de que o projeto de tais controladores despenderiam um elevado tempo de projeto, o que poderia impedir a conclusão nos prazos estabelecidos, além de financeiramente não ser compensador. Associada a esses controladores, é utilizada uma placa de programação, permitindo alterar parâmetros de controle, tais como frenagem, modo de inicialização, corte de alimentação, entre outras características. O controlador utilizado e sua placa de programação podem ser vistos na Figura 7.

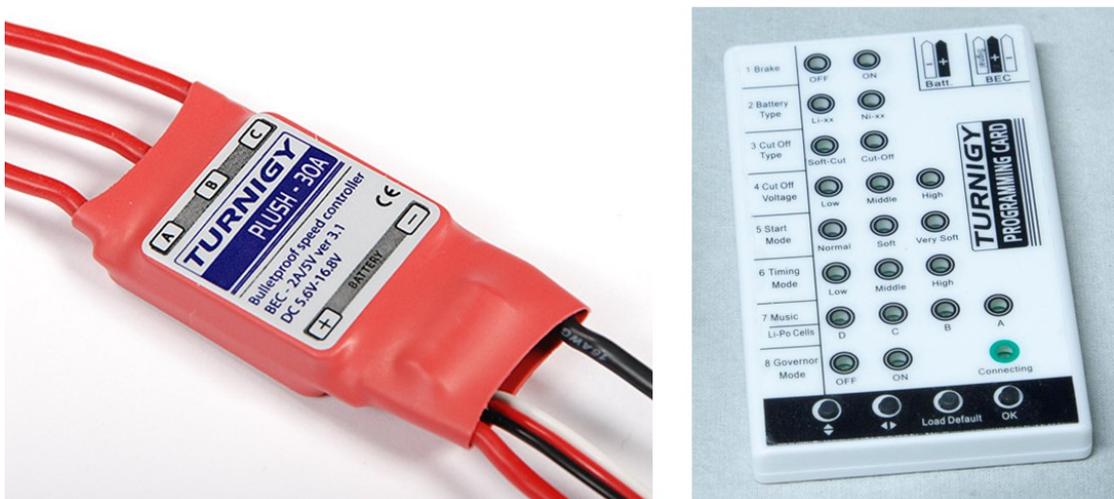
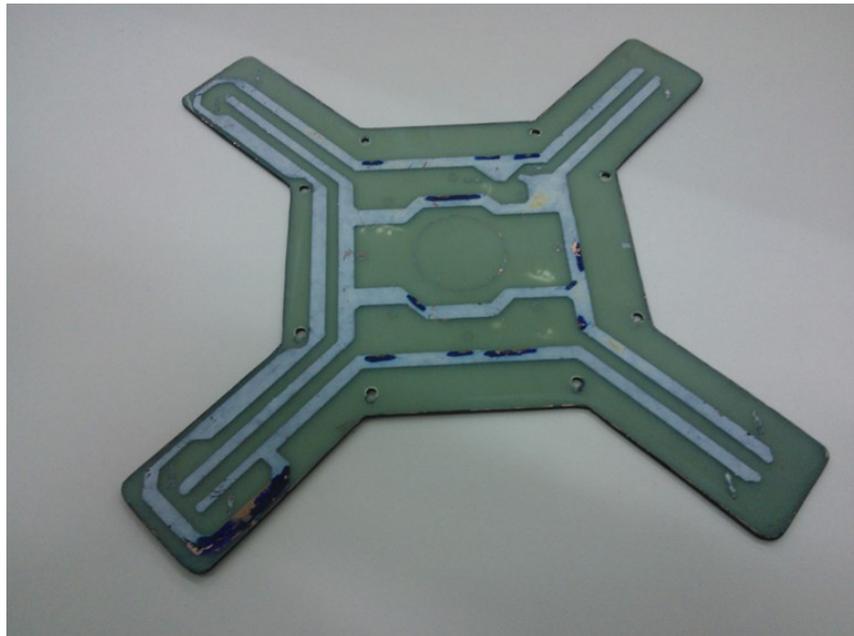


Figura 7 – Controlador de velocidade e placa de programação

Para a distribuição da alimentação entre os motores e seus controladores, foi estampado um circuito no próprio frame, conforme demonstrado na Figura 8. Foram observados parâmetros como condução de corrente elétrica para dimensionamento das trilhas, assim como o posicionamento dos conectores e bornes de ligação. Também foram previstos nesta peça o encaixe dos demais dispositivos eletrônicos que compõem o *hardware* do quadricóptero.



**Figura 8** – Circuito de distribuição

Ainda compõem a eletrônica da aeronave um receptor de comandos, advindos do transmissor de rádio, e a placa de controle de estabilização (SOUZA *et al.*, 2012). O rádio transmissor utilizado para enviar comandos à aeronave foi adquirido no mercado nacional e possui nove (9) canais, sendo apenas quatro (4) utilizados até o momento (ver Figura 9).



**Figura 9** – Rádio Transmissor e seu receptor

Inicialmente, para efetuar testes da estrutura construída, utilizou-se a placa de voo *KK2.0 Multi-Rotor LCD Flight Controller*, fabricada e distribuída pela *Hobbyking*. Essa placa possui um sensor de medição inercial (IMU, do inglês *Inertial Measurement Unit*) de seis (6) graus de liberdade, composta por um acelerômetro e um giroscópio nos três (3) eixos. Esses dados são utilizados por um controlador do tipo *Proporcional-Integral-Derivativo - PID* (FRANKLIN *et al.*, 2009), para estabilizar o voo. Os parâmetros são ajustados diretamente na placa de controle, mediante um conjunto de botoeiras e uma tela LCD, conforme mostra a Figura 10.

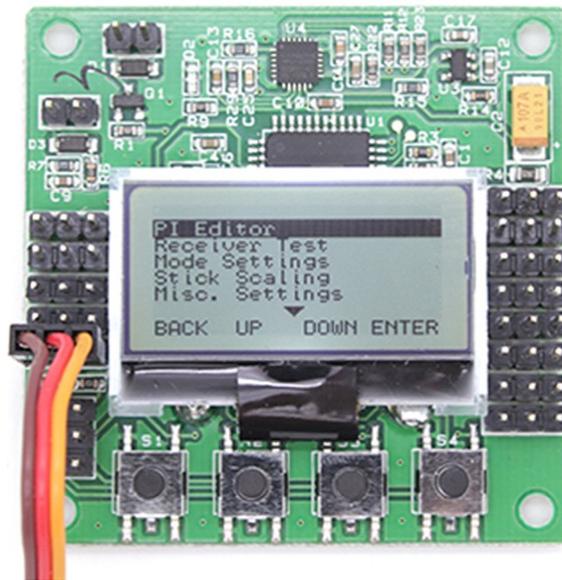


Figura 10 – Placa de estabilização

## Resultados e Discussões

O sistema real finalizado pode ser observado na Figura 11, com toda a mecânica e a eletrônica concluída.



Figura 11 – Quadricóptero final

Na sequência da finalização do sistema, iniciaram-se os preparativos para os testes de voo, nos quais primeiramente foi necessário calibrar os controladores de velocidade e sensores da placa de estabilização (utilização do modelo comercial).

Finalizado o processo de calibração, iniciaram-se os primeiros testes de voo, cujos resultados, após alguns pequenos ajustes nos parâmetros de controle, mostraram-se plenamente satisfatórios, obtendo-se uma boa estabilização e respostas dos comandos emitidos pelo transmissor. Na Figura 12 é possível visualizar o protótipo em funcionamento.



**Figura 12** – Quadricóptero em voo

Após os testes com a placa de estabilização comercial, que comprovaram a robustez da estrutura mecânica construída, iniciou-se o desenvolvimento de uma placa própria para estabilização de voo. O sensor escolhido foi o GY-521, uma IMU de 6DOF, de baixo custo, interligada a um microcontrolador ATMEGA-328P, rodando um *firmware* de código aberto denominado de MultiWii. Na Figura 13, observa-se a tela de configuração e calibração do quadricóptero.

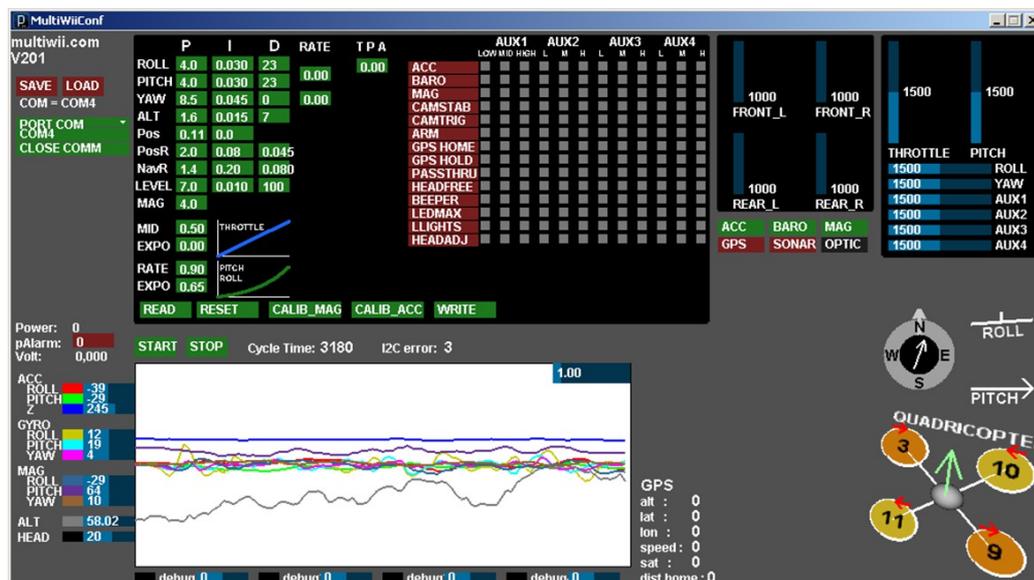


Figura 13 – Configuração/Calibração do quadrrrotor

Resultados preliminares comprovaram eficiência semelhante à obtida com o modelo comercial, porém com a grande vantagem de ser possível a manipulação do *firmware*, podendo-se, por exemplo, incluir novas rotinas de filtragem, assim como a inserção de sensores (barômetros, magnetômetros, GPS, ultrassônicos, entre outros) que futuramente possibilitarão uma movimentação autônoma da aeronave.

## Conclusões

A implementação de uma aeronave VTOL de baixo custo mostrou-se adequada ao objetivo proposto. O quadrrrotor construído pode ser facilmente reproduzido, com utilização de materiais e ferramentas comumente encontrados. Os alunos da unidade curricular de Teoria de Controle podem agora usufruir de uma planta real para testes dos controladores estudados em teoria, e o equipamento poderá ser utilizado em feiras e apresentações escolares, de modo a chamar a atenção da comunidade e motivar ingresso de novos estudantes no IFSC.

## REFERÊNCIAS

BRESCIANI, T. **Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter**. Dissertação de Mestrado, Lund University, 2008.

COSTA, S. E. A. P. **Controle e Simulação de um Quadrrrotor Convencional**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeroespacial, Instituto Superior Técnico (Universidade de Lisboa), 2008.

FRANKLIN, G. H.; POWELL, J. D.; NAEINI, A. B. **Feedback Control of Dynamic Systems**. 6.ed. Prentice Hall, 2009.

LELLIS, M. C. O. **Modelagem, Identificação e Controle de um VANT Quadrirotor**. Seminário apresentado ao grupo de robótica DAS/UFSC, 2012.

PIERI, E. R. **Curso de Robótica Móvel**. Universidade Federal de Santa Catarina, PPEE, Florianópolis, 2002.

POUNDS, P.; MAHONY, R.; CORKE, P. **Modelling and Control of a Quad-Rotor Robot**. QUT ePrints, 2006.

SALIH, A. L.; HAIDER, M.; MOHAMED, H. A.; GAEID, K. S. **Modelling and PID Controller Design for a Quadrotor Unmanned Air Vehicle**. Automation Quality and Testing Robotics, 2010.

SOUZA, C.; RAFFO, G. V.; MIHOMEM, R. L.; SILVA, L. F. P.; CASTELAN, E. B.; MORENO, U. F. **Controle Baseado em Passividade de uma Aeronave VTOL**. XIX Congresso Brasileiro de Automática, CBA 2012.