

## CONSTRUÇÃO E MODELAGEM MATEMÁTICA DE UMA PLANTA DIDÁTICA DE TESTES EM DRONES PARA ESTUDOS EM ENGENHARIA DE CONTROLE

Vinícius Alefe de Aquino<sup>1</sup>; Leandro Freitas<sup>2</sup>; Michelle Mendes Santos<sup>3</sup>;

1 Bolsista IFMG, Engenharia de Controle de Automação, IFMG Campus Betim, Betim - MG; [viniracim@gmail.com](mailto:viniracim@gmail.com)

2 Orientador: Pesquisador do IFMG, IFMG Campus Betim, Betim - MG; [leandro.freitas@ifmg.edu.br](mailto:leandro.freitas@ifmg.edu.br)

3 Orientadora: Pesquisador do IFMG, IFMG Campus Betim, Betim - MG; [michelle.mendes@ifmg.edu.br](mailto:michelle.mendes@ifmg.edu.br)

### RESUMO

O estudo de técnicas de controle, bem como a modelagem de sistemas dinâmicos são fatores de vital importância na engenharia moderna, uma vez que, sendo aplicados a sistemas industriais, de transporte, infraestrutura, e logística, entre outros, permitem o desenvolvimento de novas tecnologias e, conseqüentemente, o aumento de produtividade e qualidade nos mais variados contextos. O presente trabalho consiste na construção de uma planta didática de estudos em modelagem, síntese e avaliação de técnicas de controle aplicadas a veículos quadricópteros. O objetivo geral do trabalho é a construção física de uma base com um veículo quadricóptero de pequeno porte, a adaptação da eletrônica do veículo de modo a permitir a leitura de sensores de movimentação e possibilitar a atuação individual em cada motor, sem malhas de controle intermediárias. Deseja-se que toda a técnica necessária para controle da movimentação do drone possa ser implementada em um microcontrolador, modelo ESP-32, que fará a leitura e comando das variáveis de entrada e saída. Foi utilizado um drone de modelo EACHINE-H8 mini, que possui dimensões reduzidas, adequadas ao ambiente de laboratório de ensino. Contudo, o drone utilizado, em sua versão comercial, não possui informações de altitude do veículo, nem dos três ângulos de movimentação fundamentais (arfagem, rolagem e guinada) prontamente disponíveis para leitura pelo microcontrolador. O acionamento dos motores ainda possui uma malha fechada implementada eletronicamente no veículo – característica não desejada para a planta didática. Para adequar o sistema, a eletrônica do drone foi adaptada de modo a permitir o livre controle de seus motores. Um sensor composto por acelerômetros e giroscópios foi inserido no interior do veículo para a aquisição de dados angulares e inerciais, além de um sensor ultrassônico para aquisição de dados da altura do veículo. Foi necessário, ainda, implementar um processamento dos sinais dos sensores no microcontrolador para elevar a confiabilidade das medições. O resultado final é um sistema multivariável (MIMO), com quatro variáveis de saída (i.e. ângulos de arfagem, rolagem, guinada e altitude) e quatro variáveis de entrada (potência em cada um dos quatro motores das hélices). Toda implementação utilizou itens de baixo custo e dispositivos já disponíveis nos laboratórios do IFMG Betim.

### INTRODUÇÃO:

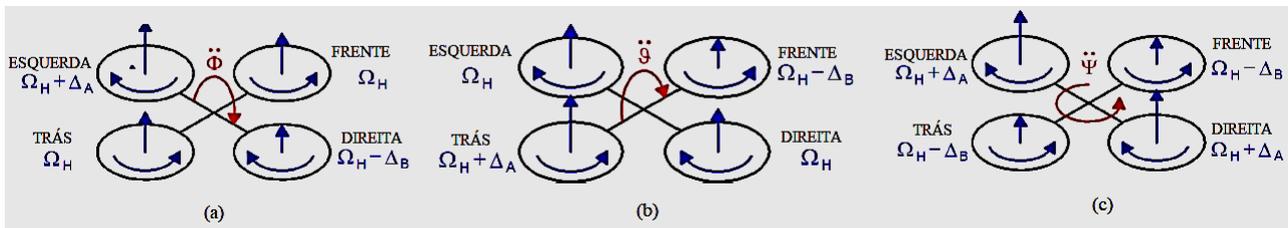
Controlar sistemas, por muito tempo, foi um dos desafios que determinaram os caminhos para os quais a evolução tecnológica se voltou com o passar dos anos. James Watt, por exemplo, ainda no século XVIII, foi um dos pioneiros no desenvolvimento de sistemas de controle, criando um regulador centrífugo para o controle da velocidade de uma máquina a vapor<sup>1</sup> – não é novidade que as melhorias implementadas por Watt às máquinas a vapor foram fundamentais para o desenvolvimento da revolução Industrial. Muitos outros avanços dedicados ao controle de sistemas foram alcançados desde então, com a implementação de técnicas estudadas por cientistas e engenheiros como Minorsky e Harry Nyquist, entre outros, possibilitando grandes saltos tecnológicos em âmbito acadêmico e industrial. Dessa forma, hoje o controle de sistemas é uma área de suma importância no estudo e evolução da engenharia moderna.

Atualmente, o estudo de controle de sistemas tem se desenvolvido em várias ramificações. Dentre elas, uma que ganha destaque é o estudo de controle de veículos quadricópteros, motivado pela crescente expansão da atuação de veículos autônomos com o objetivo de transporte de materiais diversos.

Veículos quadricópteros (ou *drones*), diferentemente de aviões e outros tipos de aeronaves, naturalmente não possuem propulsores dedicados à movimentação direcional horizontal e, sendo assim, têm uma movimentação baseada apenas em três movimentos angulares fundamentais os quais denominam-se: arfagem, rolagem e guinada, conforme apresentado na Figura 1.

Arfagem e rolagem são os movimentos em que as potências dos motores do drone são redistribuídas entre si de forma a crescer empuxo em um dos lados do drone e decrescer empuxo no lado oposto permitindo assim uma rotação angular em torno dos eixos horizontais de orientação do drone. Já a guinada é o movimento em que um par de motores diagonalmente opostos tem sua rotação incrementada

enquanto o outro par de motores tem sua rotação decrementada (em veículos quadrrrotores) permitindo a rotação angular do drone em torno de seu próprio eixo vertical.



**Figura 1.** (a) Ângulo de rolagem de um quadrrroter representado por  $\Phi$ . (b) Ângulo de arfagem representado por  $\vartheta$ . (c) Ângulo de guinada representado por  $\Psi$ . A variável  $\Omega_H$  representa a potência em cada motor, sendo  $\Delta_A$  e  $\Delta_B$  os respectivos acréscimos ou decréscimos de potência em módulo. Fonte: adaptado de Bresciani (2008) <sup>2</sup>.

Observa-se, na Figura 1, que o acréscimo ou decréscimo de potência em cada motor (representados por  $\Delta_A$  e  $\Delta_B$ ) gera, no posicionamento do quadrrroter, uma aceleração angular ( $\ddot{\Phi}$ ,  $\ddot{\vartheta}$  e  $\ddot{\Psi}$ ) em torno de seus próprios eixos.

Estando o drone em voo, de acordo com a magnitude dos ângulos de arfagem e rolagem, em um sistema físico ideal, gera-se uma aceleração horizontal na direção do motor (ou motores) cuja potência é de menor magnitude. Tal aceleração é gerada pela decomposição do vetor resultante de empuxo do drone, que é a soma vetorial dos empuxos individuais sobre cada motor. Para que os movimentos de arfagem e rolagem gerem um movimento unicamente horizontal sobre o drone, o empuxo sobre os motores deve ser determinado de forma a gerar um vetor resultante que possua componentes não nulas tanto sobre o eixo vertical quanto sobre o eixo horizontal e, dessa forma, a componente vertical deve ser anulada pela gravidade enquanto a componente horizontal seria a responsável por gerar a aceleração horizontal desejada na movimentação do drone.

Para garantir uma adequada movimentação (controle de posição e velocidade sobre os eixos), esses três ângulos devem ser controlados de forma precisa e constante por meio da alocação de potência para cada motor do veículo, uma vez que a orientação angular de arfagem e rolagem não gera uma velocidade constante sobre cada eixo, mas sim uma aceleração. Desenvolver e aplicar técnicas de modelagem e controle que proporcionem melhor movimentação de quadrrrotores é, portanto, um desafio a ser vencido por estudantes e pesquisadores que atuam na área de controle.

Trabalhos acadêmicos de engenharia de controle têm se desenvolvido em esforços para o controle e modelagem de veículos quadrrrotores. Bouabdallah, por exemplo, em sua tese de doutorado “*Design and Control of Quadrotors with Application to Autonomous Flying*” (2007) <sup>3</sup>, desenvolveu um trabalho voltado para a modelagem e controle visando a construção de uma mini aeronave de quatro rotores com enfoque em controle autônomo de decolagem e aterrissagem. Para a realização dos testes foi desenvolvida uma base em que o drone era conectado de forma a permitir sua livre movimentação, utilizando, junto ao drone, um módulo sensor wireless modelo MT9-B para a obtenção de dados.

Bresciani, por sua vez, em “*Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter*” (2008) <sup>2</sup>, desenvolveu a modelagem de um sistema dinâmico de um veículo quadrrroter em que foram avaliados algoritmos de controle aplicados a um simulador e uma plataforma real desenvolvida para os testes dos modelos executados. Alguns outros trabalhos mais recentes voltados para a área têm sido desenvolvidos, tais como “*Quadrotor Control: modeling, nonlinear control design, and simulation*” de Francesco Sabatino (2015) <sup>4</sup> e “*Modelagem e Controle de um Veículo Quadrrroter*” <sup>5</sup>, entre outros.

Esses trabalhos mostram que técnicas de controle automático são essenciais para o bom funcionamento de um veículo quadrrroter, em que diversas malhas devem estar presentes para uma movimentação adequada. A construção de uma planta didática permite o estudos práticos de técnicas de modelagem e controle de sistemas dinâmicos, tanto no âmbito da pesquisa quanto do ensino. O desenvolvimento desses temas é também de grande interesse para o setor industrial, já que técnicas de modelagem e controle são amplamente aplicadas em processos automatizados modernos. Desenvolver esse tema de estudo e pesquisa é particularmente interessante para o IFMG Campus Betim, já que está situado numa região com uma das maiores concentrações de indústrias do estado e do país, além de possibilitar aos estudantes de graduação o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa e trabalhos conclusão de curso sobre um dos principais eixos do curso da Engenharia de Controle e Automação em um problema aplicado e atual, em sintonia com a nova realidade dos sistemas automáticos.

## METODOLOGIA:

O processo de montagem e desenvolvimento do projeto de planta de modelagem foi integralmente realizado no IFMG Campus Betim. Para a montagem foi utilizada inicialmente uma base em madeira e uma adaptação em que fosse possível a disposição dos itens e pontos de fixação das partes móveis e estáticas dos dispositivos utilizados no projeto de planta. A base foi montada totalmente em madeira MDF utilizando-se de parafusos para a realocação de colunas e barras para a fixação dos dispositivos. As dimensões da base foram de 0,53x0,45 metros, sendo a sua altura de 0,5m até as arestas superiores da estrutura.

Com a base montada, adaptações foram realizadas no drone previamente adquirido, modelo EACHINE-H8 mini, para a obtenção de total controle sobre os seus motores. Uma foto do drone é apresentada na Figura 2. As modificações realizadas resultaram no descarte total do circuito interno do drone, sendo aproveitados somente a carcaça em plástico, os motores DC, as hélices e alguns transistores de efeito de campo<sup>6</sup>. Sendo assim, um novo circuito para a alimentação dos motores foi planejado e montado sobre a carcaça.



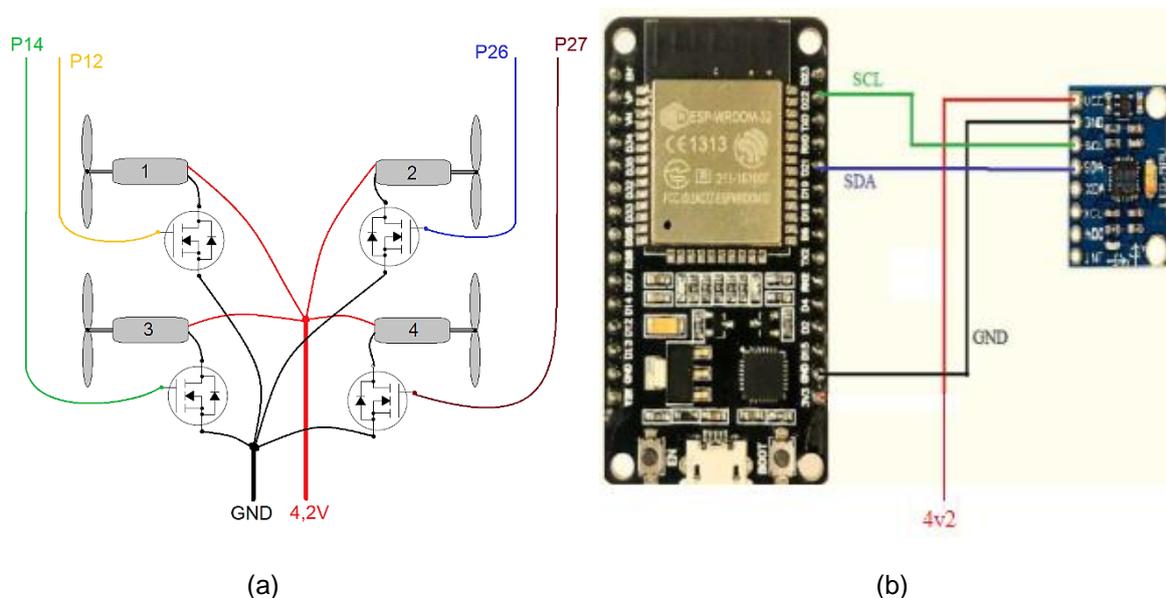
**Figura 2.** Modelo de drone utilizado na planta didática, Eachine H8 Mini, com dimensões aproximadas de 13.5x13.5x2.8 cm. O controle remoto que acompanha o produto não foi utilizado. Fonte: [www.eachine.com](http://www.eachine.com)

Em testes realizados previamente, constatou-se que a bateria do drone original tem duração média de 5 a 7 minutos em voo. A potência dos motores também não é tão elevada, sendo que a inserção do acelerômetro/giroscópio aumentaria o peso e reduziria a capacidade de gerar empuxo no veículo. Como o objetivo do projeto é construir uma planta com propósitos didáticos e de pesquisa, decidiu-se por eliminar a bateria do drone e fornecer alimentação do circuito via cabo, o que reduz boa parte do peso em suspensão e ainda elimina o problema de reposição de baterias. A alimentação dos motores foi realizada com cabos de alimentação flexíveis, de peso muito reduzido, observando a capacidade de corrente dos condutores. O desenho esquemático do circuito de alimentação e controle individual dos motores pode ser observado na Figura 3 (a).

Outras modificações foram realizadas no drone, dentre elas, a instalação de uma unidade inercial composta por um acelerômetro de 3 eixos e um giroscópio de 3 eixos, modelo MPU-6050<sup>7</sup>, sendo alimentado com 4,2V de tensão, com frequência de clock máxima de 400 kHz especificado no datasheet do componente e utilizando o protocolo de comunicação I2C com o microcontrolador. A ilustração da conexão do sensor com o microcontrolador também pode ser observada na Figura 3 (b). Também foi disposta dentro da carcaça do drone, no compartimento em que anteriormente alojava-se a bateria, uma pequena estrutura de plástico com o objetivo de permitir a utilização do drone para a fixação do drone ao elástico de retenção que seria utilizado junto à base. Outro sensor utilizado no sistema foi o sensor ultrassônico (modelo HC-SR04)<sup>8</sup> para a obtenção de altitude do drone.

O microcontrolador utilizado foi o ESP-32<sup>9</sup>, que pode ser observado na Figura 3(b). Foi desenvolvida uma programação na linguagem C (através da plataforma Arduino IDE) para aquisição, leitura, integração e processamento dos sinais fornecidos pelos sensores. O programa também permite o acionamento dos motores do drone, usando sinal PWM enviado para as bases dos transistores (si2300ds) utilizados, controlando assim o fluxo de corrente de alimentação individual de cada motor.

Acoplado à base, também foi desenvolvido um comando manual das potências individuais nos motores do drone. Para isso, foram utilizados 4 potenciômetros de 100k $\Omega$  de forma que, montados em um circuito alimentado com 3,3V, de acordo com seus respectivos posicionamentos manuais, gerassem uma queda de potencial elétrico que seria lida pelos conversores AD (Analogico-Digitais) de quatro entradas do microcontrolador, possibilitando o acionamento manual da potência de cada motor. Futuramente, os potenciômetros podem ser utilizados para outros propósitos, como ajuste dos setpoints, simulação de algum tipo de perturbação na dinâmica do sistema, entre outros.



**Figura 3.** (a) Ilustração do circuito montado para o controle dos motores do drone em que P12, P14, P26 e P27 representam as respectivas portas digitais do microcontrolador utilizadas no controle de cada motor. (b) Ilustração da conexão do sensor MPU-6050 com o microcontrolador. Fonte: próprio autor.

Em testes preliminares, notou-se que os dados fornecidos pelo acelerômetro e giroscópio possuíam alta taxa de ruídos, o que prejudica a análise dos dados. Para sanar o problema, foi implementado um filtro passa-baixas do tipo média móvel, que atenua as altas frequências de ruído e mantém a integridade do conteúdo espectral de baixas frequências relativos à movimentação angular do drone. O algoritmo de média móvel foi testado com variadas quantidades de termos apresentando diferentes níveis de atenuação de ruído para cada caso.

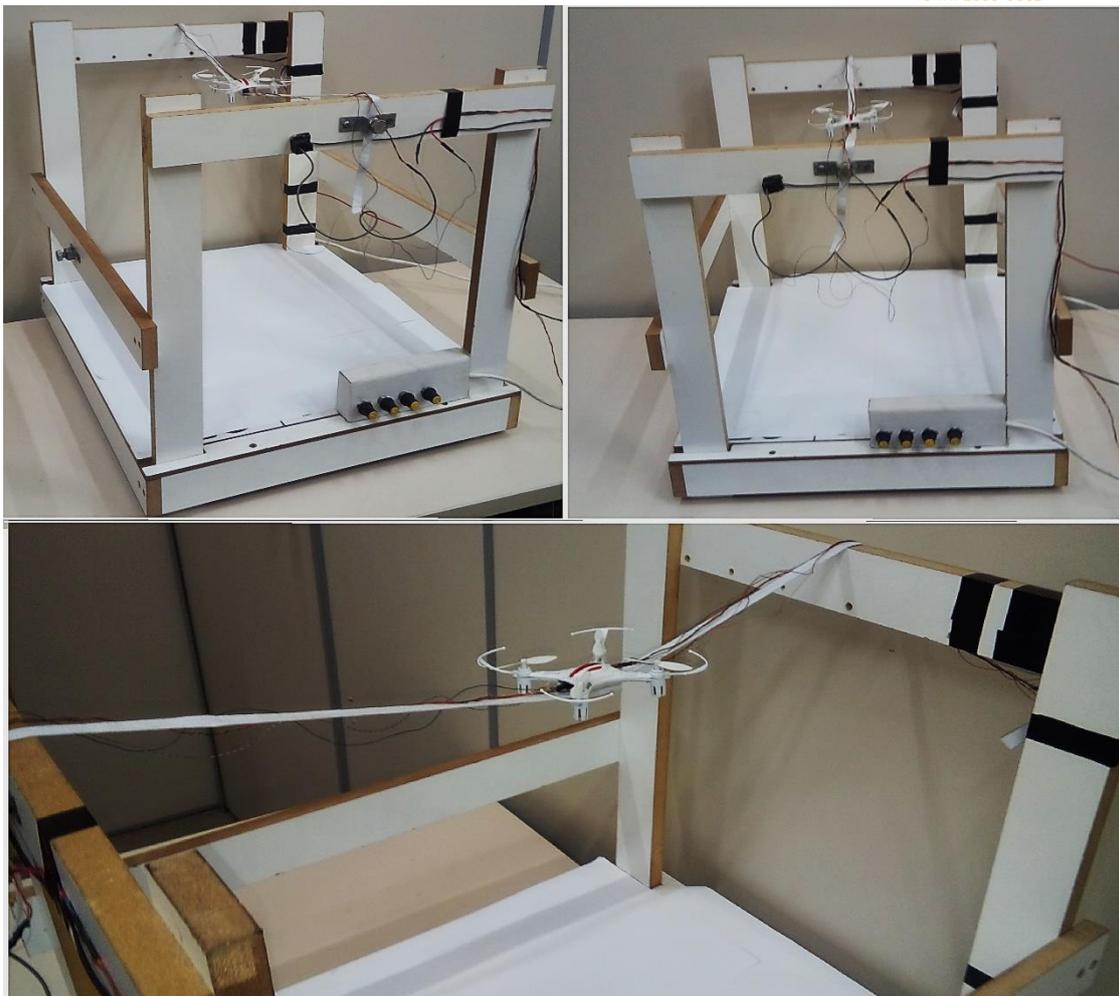
O sensor acelerômetro utilizado é capaz de medir a aceleração nos 3 eixos fundamentais, não fornecendo diretamente os ângulos de arfagem e rolagem desejados. Dessa forma, foi necessária a implementação de um algoritmo capaz de converter as acelerações obtidas pelo sensor nos ângulos desejados referentes a arfagem e rolagem do drone. O algoritmo implementado utilizou-se do método de decomposição vetorial para a realização dos cálculos uma vez que, ao medir-se a componente de aceleração gravitacional sobre os eixos horizontais e verticais do drone, torna-se possível, a partir do conhecimento da aceleração gravitacional na superfície, o cálculo dos ângulos a qual o drone está submetido através de princípios trigonométricos.

O sensor giroscópio, assim como o acelerômetro, não fornecia diretamente os dados desejados para a análise de movimentação do drone (no caso do giroscópio, o ângulo de guinada), fornecendo apenas a velocidade angular de rotação em torno dos três eixos do drone. Sendo assim, foi necessária a implementação de um algoritmo capaz de calcular, através de processos de integração numérica, o ângulo instantâneo a qual o drone está submetido a partir do seu histórico de taxas de variação. O código implementado foi o algoritmo de cálculo de áreas pelo método dos trapézios, que consiste na obtenção da área abaixo de um gráfico de dados discretos através do cálculo de áreas de sucessivos trapézios formados pela junção dos dados discretos obtidos através de retas. Buscou-se obter as mais altas taxas de amostragem permitidas pelo sensor giroscópio a fim de minimizar-se os erros numéricos advindos das aproximações do algoritmo de integração utilizado.

Por fim, a análise dos resultados de angulação de arfagem, rolagem e guinada foi desenvolvida através de comparação. Os procedimentos de análise foram executados com o drone desacoplado da base e apenas com o sensor ligado. A princípio, o drone foi posicionado em uma superfície plana e estática, após o posicionamento do drone sobre a superfície foram colhidos os dados de angulação fornecidos pelo sensor e calculados pelo software e então, foram medidos os dados com o drone posicionado sobre esquadros de  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $60^\circ$  que estavam na vertical sobre a mesma superfície plana a qual o drone foi inicialmente posicionado. Para minimizar o erro humano, as medições sobre os esquadros foram realizadas com o auxílio das arestas retilíneas da parte inferior do drone. Os dados obtidos com o drone posicionado sobre os esquadros foram comparados com os dados obtidos com o drone posicionado apenas sobre a superfície, sendo a diferença entre as medições a alteração angular proporcionada pelos esquadros. Essa diferença entre as medições, quando comparada aos ângulos nominais dos esquadros, foi capaz de mostrar uma aproximada diferença entre a variação angular real e a variação angular medida pelo sensor. Dessa forma foi possível mensurar uma precisão aproximada de medição dos ângulos de arfagem e rolagem medidos pelo sensor acelerômetro. No caso dos ângulos de guinada, os procedimentos foram semelhantes, porém, desta vez, os esquadros estavam posicionados na horizontal o drone foi movimentado apenas em ângulo de guinada e os testes foram realizados acoplado o drone a uma aresta do esquadro e depois movimentando o drone e acoplado a outra aresta do esquadro, enquanto o esquadro permanecia estático e fixado à superfície;

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

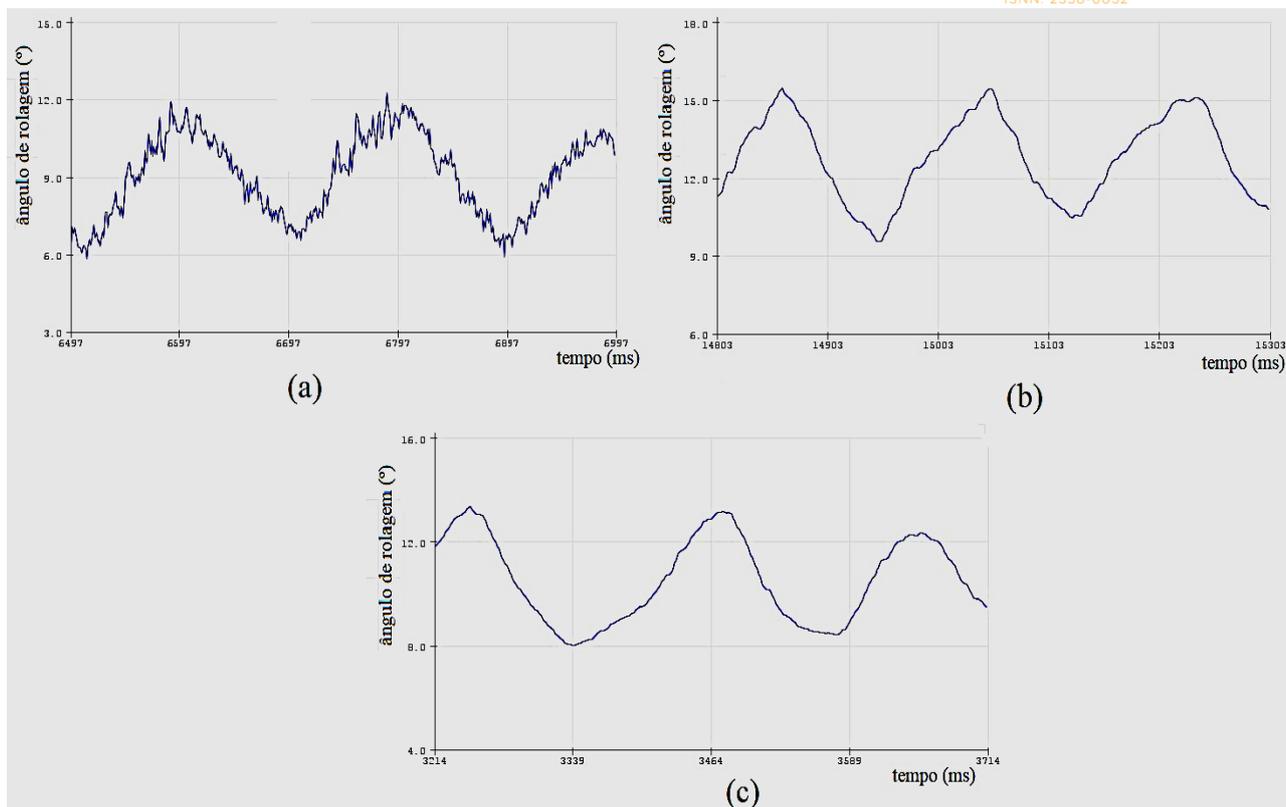
Findada a montagem da base, drone, sensores, comandos manuais e desenvolvimento do software de leitura e comando, obteve-se a planta com o sistema base-drone mostrado na Figura 4.



**Figura 4.** Fotos da base montada com o drone fixado para testes. Fonte: próprio autor.

Com a montagem do sistema base-drone concluída, os primeiros testes da planta puderam ser executados. Inicialmente, foram realizados alguns testes manuais verificando a movimentação do drone enquanto fixado ao elástico e à base. Pôde ser observada uma boa movimentação do drone. Utilizando o comando manual foi possível a realização de tarefas específicas como o posicionamento estacionário do drone em determinada angulação de rolagem, arfagem e guinada, de acordo com o posicionamento e progressividade dos potenciômetros acionados. Também foi possível a programação do software para a realização de sequências de comandos do drone. Desta forma, obteve-se os resultados esperados, sendo possível a realização de pequenos testes de movimentação, comando individual nos motores e leitura dos dados dos sensores com um nível de ruído reduzido de forma a não comprometer o desempenho dos sensores..

A aplicação do algoritmo de filtragem por média móvel apresentou resultados dentro do esperado permitindo a filtragem dos ruídos de medição melhorando consideravelmente a leitura dos dados de angulação de arfagem, rolagem e guinada do drone. Não foi mensurada em termos numéricos as reduções de ruídos proporcionadas pela aplicação do filtro de média móvel, entretanto, os ganhos resultados foram suficientemente expressivos para serem notados graficamente. Na Figura 5 podem ser observados os gráficos de ângulos de rolagem de movimentos similares sem a aplicação de filtros, com a aplicação de média móvel de 15 termos e com a aplicação de média móvel de 30 termos.



**Figura 5.** Gráficos de ângulo de rolagem ( $^{\circ}$ ) por tempo (ms) para semelhantes movimentações. (a) sem filtragem, (b) com média móvel de 15 termos e (c) com média móvel de 30 termos.

Nos sensores utilizados, com a filtragem por média móvel, foi possível a realização de leitura dos ângulos de arfagem, rolagem e guinada com precisão suficiente para a análise de movimentação e realização de testes dinâmicos. Nos testes manuais, descritos na seção de metodologia desse trabalho, os ângulos de arfagem e rolagem se mostraram os mais precisos possibilitando uma precisão de até  $\pm 1^{\circ}$ . Os ângulos de guinada, por sua vez, foram obtidos apresentando uma precisão de até  $\pm 3^{\circ}$  para testes mais longos e com movimentações mais abruptas, oscilantes e em todas as direções.

Em testes, foi possível a aquisição de amostras com uma taxa de amostragem, por comunicação serial, de até 800 amostras por segundo para os ângulos de arfagem, rolagem e guinada, com alguns valores auxiliares de taxa de variação angular sobre os três eixos fundamentais utilizados no drone. O sensor ultrassônico, em análise, apresentou menores taxas de amostragem gerando 200 amostras por segundo. Entretanto, mesmo com uma taxa de amostragem relativamente baixa, quando comparado aos demais sensores, tornou-se possível a utilização do sensor ultrassônico para os fins objetivos do projeto devido ao fato de a variável de altura não exigir uma alta taxa de amostragem para sua análise, uma vez que a variável de altura obtida pelo software não necessita de algoritmos de integração nem de filtragens que exijam altas taxas de amostragem, diferentemente das demais variáveis trabalhadas pelos sensores.

## CONCLUSÕES:

É viável a utilização de uma pequena base manualmente montada para a realização de testes dinâmicos de movimentação em drones. Nos moldes do projeto desenvolvido, a base permite uma movimentação limitada, porém, suficiente para a avaliação das componentes físicas envolvidas no processo de movimentação de veículos quadrirrotores e, assim, o estudo de técnicas de modelagem e controle.

Avaliando a funcionalidade da planta desenvolvida, foi possível a devida utilização dos atuadores do sistema (motores) e sua avaliação através da leitura das variáveis controladas disponibilizadas pelos sensores. A aquisição de dados atendeu às demandas do projeto, permitindo a leitura dos dados obtidos de acordo com as variáveis físicas conhecidas. Percebeu-se uma melhoria com a utilização de filtros de média móvel no tratamento de dados e de algoritmos de integração para a obtenção de variáveis físicas primárias às obtidas sensorialmente.

Tem-se a perspectiva, a partir das conclusões obtidas neste trabalho, do desenvolvimento de trabalhos futuros voltados à modelagem da atual planta de controle como projeto complementar aos resultados já adquiridos. Há também a possibilidade do desenvolvimento de estudos de técnicas de controle em drones como parte de futuros projetos viabilizados pelo presente trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1 OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. p. 1-3.
- 2 BRESCIANI, Tommaso. **Modelling, identification and control of a quadrotor helicopter**. 2008. 170 f. Tese (Mestrado) – Department of Automatic Control, Lund University, Lunda, Suécia. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Mohamed\\_Mourad\\_Lafifi/post/How\\_identification\\_quadcopter\\_dynami\\_que\\_model2/attachment/59d63d7c79197b807799a49c/AS%3A419935097507840%401477131737575/download/Modelling%2C+Identification+and+Control+of+a+Quadrotor+Helicopter.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mohamed_Mourad_Lafifi/post/How_identification_quadcopter_dynami_que_model2/attachment/59d63d7c79197b807799a49c/AS%3A419935097507840%401477131737575/download/Modelling%2C+Identification+and+Control+of+a+Quadrotor+Helicopter.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2019.
- 3 BOUABDALLAH, Samir. **Design and control of quadrotors with application to autonomous flying**. 2007. 129 f. Tese (Doutorado) – Universidade Aboubekr Belkaid, Tlemcen, Argélia. Disponível em: <[https://infoscience.epfl.ch/record/95939/files/EPFL\\_TH3727.pdf](https://infoscience.epfl.ch/record/95939/files/EPFL_TH3727.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2019.
- 4 SABATINO, Francesco. **Quadrotor control: modeling, nonlinear control design, and simulation**. 2015. 61 f. Projeto de Graduação (Mestrado) - Instituto Real de Tecnologia, KTH, Estocolmo, Suécia. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/513c/b34cf7c240e20e92c31af78931f42f898af9.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2019.
- 5 MONTEIRO, João Carlos. **Modelagem e controle de um veículo quadricóptero**. 2015. 90 f. TCC (Bacharelado) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014928.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2019.
- 6 HOTTECH SEMICONDUCTORS. **Plastic-Encapsulate Mosfets**. Datasheet - GUANGDONG HOTTECH INDUSTRIAL CO, LTD. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/856014/HOTTECH/SI2300.html>>. Acesso em: 6 jul. 2019.
- 7 INVENSENSE INC. **MPU-6000 and MPU-6050 product specification revision 3.3**. 2012. 54 f. Datasheet – Sunnyvale, Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/GY-521/mpu6050.pdf>>. Acesso em: 6 jul. 2019.
- 8 CYTRON TECHNOLOGIES. **Product User's Manual – HCSR04 Ultrasonic Sensor**. 2013. 10 f. Manual do usuário – Cytron Technologies Sdn. Bhd., Taman Universiti, Malásia. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/1291829/Cytron/HC-SR04/1>>. Acesso em: 6 jul. 2019.
- 9 ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP-32 Series Datasheet V3.0**. 2019. 53 f. Datasheet – Espressif Systems, Xangai, China. Disponível em: <[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 6 jul. 2019.