

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PLATAFORMA EXPERIMENTAL PARA MEDIÇÃO DO EMPUXO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DE VEÍCULOS MULTIRROTORES¹
EXPERIMENTAL PLATFORM FOR THE MEASUREMENT OF THE THRUST THE PROPULSION SYSTEM OF MULTIROTOR VEHICLES

Elisiane Pelke Paixão², Manuel Martin Perez Reimbold³, João Vitor Das Chagas Silva⁴, Christopher Sauer⁵

¹ Projeto de pesquisa de iniciação científica desenvolvido no Departamento de Ciências Exatas e Engenharia, pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle

² Bolsista PROBIC/FAPERGS, aluna do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí

³ Professor Dr. no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí

⁴ Bolsista PROBIC/FAPERGS, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí

⁵ Bolsista PIBIC/Unijuí, aluno do curso de Engenharia Elétrica da Unijuí

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) estão se tornando populares devido à ampla gama de aplicações. Essas aeronaves podem ser autônomas (AA - Autonomous Aircraft) ou controladas remotamente (RPA - Remotely Piloted Aircraft). Os RPAs se destacam pela aplicabilidade em tarefas civis, entre essas é possível destacar o monitoramento ambiental, produção de conteúdo jornalístico e pesquisa acadêmica, em que os modelos multirrotores são amplamente utilizados.

No meio acadêmico é relevante investigar o desempenho dessas aeronaves a fim de desenvolver modelos matemáticos que atendam determinadas especificidades de voo. O desempenho desses sistemas está diretamente relacionado ao módulo de propulsão eletromecânico, que é constituído de hélice, motor de corrente contínua e controlador eletrônico de velocidade (ESC).

Dessa forma, para projetar um VANT que atenda as características desejadas, é necessário retratar o comportamento dos fenômenos físicos que atuam no sistema propulsor (BRANDT, SELIG, 2011). Para isso, plataformas experimentais, que permitam a observação desses fenômenos, podem ser utilizadas para descrever esse comportamento.

Nesse contexto, esse trabalho investiga o desenvolvimento e projeto de instrumentos de medição de empuxo, o qual se baseia no princípio de uma balança com célula e carga e Ponte de Wheatstone para transdução eletromecânica. A validação do modelo proposto dar-se-á por meio da simulação computacional. O projeto deve contribuir para as investigações realizadas no Curso de Modelagem Matemática da UNIJUI e da comunidade científica que projeta aeronaves do tipo VANT.

A composição deste artigo está organizada em 5 seções: Na seção 2 definem-se conceitos sobre o dispositivo utilizado na medição do empuxo. A seção 3 aborda a metodologia. A seção 4 apresenta os resultados, análise e discussão. Por fim, na seção 5 são apresentadas as considerações finais e trabalhos futuros.

2. DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados possuem múltiplas configurações quanto ao número de

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

propulsores. No entanto, independente do arranjo, o sistema de propulsão é o responsável por sua estabilidade e mobilidade. O conjunto motor-hélice realiza a conversão da energia elétrica em mecânica, na forma de empuxo (GABRIEL, 2011). Esse fenômeno físico é responsável por descrever a capacidade de sustentação da aeronave, pois com a rotação da hélice surge um vetor força com sentido vertical positivo. Com a variação de rotação, o empuxo aumenta, diminui ou permanece estável, dessa forma o VANT sobe, desce ou flutua, respectivamente.

A definição de empuxo é relacionada a uma força que exerce ação sobre um corpo total ou parcialmente imerso em um fluido. Possui módulo igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo. Essa força possui sentido oposto ao da gravidade, e a intensidade é igual à do peso deslocado. Usualmente, relaciona-se o empuxo ao líquido, porém um fluido é definido como qualquer substância que pode fluir ou escoar. Essa definição também descreve o comportamento dos gases. No caso do empuxo do sistema de propulsão, esse pode ser definido pela Equação 1.

$$T = m * g \quad (1)$$

Sendo m a massa e g a aceleração da gravidade.

Para realizar a medição do empuxo, o método usualmente aplicado é por meio da balança de precisão. Portanto, os blocos que compõem o instrumento de medição estão descritos a seguir.

2.1 Elemento elástico

Este dispositivo é capaz de absorver energia mecânica, deformando-se por compressão, tração ou torção, de forma proporcional à força aplicada. Restabelece sua forma original quando cessa a aplicação dessa força. Cabe salientar que o mesmo deve apresentar deformações sem ultrapassar o limite elástico, isto é, não pode sofrer deformação permanente. Portanto, quando uma força é aplicada ao dispositivo e uma deformação ocorre dentro da região elástica, essa é regida pela lei de Hooke. A relação tensão-deformação é definida pela Equação 2.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2)$$

Sendo ε a deformação, E a constante do módulo de elasticidade do material, conhecida também como Módulo de Young, e σ é a tensão aplicada ao dispositivo.

2.2 Strain Gauge

O sensor de deformação conhecido como Strain Gauge, ou também extensômetro, é constituído de uma grade de fio metálico feita de material condutor, geralmente de cobre. Esses dispositivos são colados no elemento elástico e se deformam variando sua resistência elétrica. A relação que descreve este comportamento está descrita na Equação 3.

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R} \frac{1}{K} \quad (3)$$

Sendo K o Fator Gauge, ou constante que relacionada à sensibilidade a variação da resistência em função do comprimento do extensômetro. Logo, o princípio de funcionamento do extensômetro é baseado nas propriedades dos metais, que tendem a variar sua resistência quando submetidos a esforços mecânicos.

2.3 Ponte de Wheatstone

O circuito conhecido como Ponte de Wheatstone Completa oferece maior precisão na leitura. Esse

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

é utilizado para medir o desequilíbrio da diferença de potencial elétrico entre dois nós. Quando existem quatro resistências idênticas, constituindo a ponte e não há tração e compressão, a mesma estará em equilíbrio se a diferença entre os nós for zero. A relação que descreve o funcionamento é descrita pela Equação 4.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R2}{R1+R2} + \frac{R3}{R3+R4} \quad (4)$$

Sendo V_{in} a diferença de potencial elétrico de entrada do circuito da ponte, V_{out} a diferença de potencial elétrico que a ponte fornece. $R1$, $R2$, $R3$, $R4$ são os resistores que a integram.

Os blocos descritos compõem o que se denomina de "célula de carga". Essa é considerada um transdutor, uma vez que transforma energia mecânica em energia elétrica. A mesma é responsável por converter a carga que atua sobre a estrutura em um sinal elétrico mensurável (WERNECK, 1996). As unidades de medida utilizadas nesse trabalho são do Sistema Internacional (SI).

3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada possui natureza sistemática, metódica e crítica. É quantitativo-descritiva, exploratória e experimental. Nessa, emprega-se o método dedutivo da análise geral para a particular. A variável envolvida no estudo é o empuxo do sistema de propulsão eletromecânico. As amostras são obtidas variando a diferença de potencial elétrico de entrada sob a forma de PWM (Pulse Width Modulation).

Por meio da modulação por largura de pulso de uma onda quadrada é possível controlar a potência e velocidade do propulsor. O controle de velocidade do motor está diretamente relacionado ao empuxo, pois aumenta a rotação da hélice e conseqüentemente, a força que atua para cima. O controle é realizado por meio do ciclo de trabalho do PWM, desse modo a diferença de potencial elétrico na entrada do sistema aumenta ou diminui proporcionalmente.

A coleta de dados dos valores referentes ao empuxo é realizada por meio de um sensor de deformação, conhecido como célula de carga. A ligação desse dispositivo é realizada por meio de uma plataforma eletrônica open-source de prototipagem (Arduino UNO). O Arduino possui entradas e saídas analógicas e digitais, o que permite conecta-lo ao computador via USB (Universal Serial Bus). A programação utilizada é via IDE (Integrated Development Environment) por meio de linguagem em C/C++.

A técnica utilizada baseia-se no princípio da balança de precisão, que utiliza a célula de carga na configuração de viga em balanço e possui uma capacidade de 1kg, que corresponde a aproximadamente 10N. Nessa configuração o elemento elástico é insensível aos esforços laterais e possui como característica o esforço em flexão, medindo deformações de tração e compressão, os quais são provocados pelo conjunto hélice-motor do propulsor. O sinal elétrico da medição do empuxo é amplificado por meio de um módulo conversor analógico/digital (A/D) que faz a ligação entre a célula de carga e o microcontrolador.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 ilustra a plataforma experimental, a partir da qual ensaios são realizados e é possível constatar o comportamento da grandeza supracitada. Os dados adquiridos possibilitam a observação do comportamento do empuxo provocado pelo conjunto motor-hélice.

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

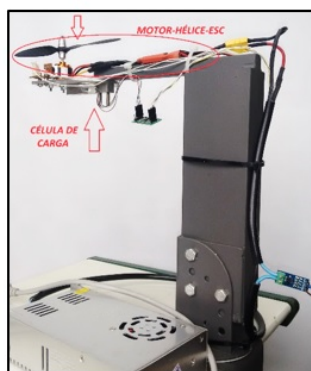


Figura 1 - Plataforma Experimental

O módulo propulsor, utilizado para realizar os ensaios, possui um motor marca *Turnigy* modelo 2826 1400kV e um controlador de velocidade marca *Red Brick* 21A. Foram utilizadas 4 hélices, cujos parâmetros estão descritos na Tabela 1. Os resultados obtidos nos ensaios realizados contêm o comportamento ilustrado graficamente na Figura 2.

Tabela 1 - Parâmetros das hélices

| Item | Tamanho |
|----------|----------------------|
| Hélice A | 7x4,5 ³³ |
| Hélice B | 8x4 ³³ |
| Hélice C | 9x3,8 ³³ |
| Hélice D | 10x4,5 ³³ |

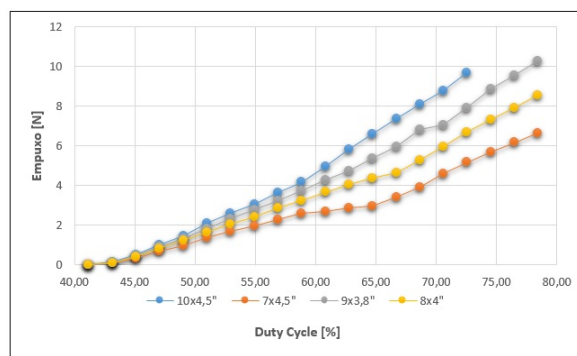


Figura 2 - Comportamento do empuxo com diferentes modelos de hélices

Discussão

Cabe observar que a estrutura física tem como base de sustentação uma armação metálica que permite rotação. Por não possuir partes móveis, minimiza os erros de instrumentação. Em sua extremidade está alocada a célula de carga, que atua como apoio para o propulsor. Os dados adquiridos são salvos em arquivo *.txt e manipulados para gerar gráficos e tabelas.

Nos testes realizados, o sinal de referência é o PWM (Pulse Width Modulation). De acordo com a variação do ciclo de trabalho (Duty Cycle), é possível aumentar a velocidade do motor, e consequentemente o empuxo será alterado. Portanto, por meio dos resultados ilustrados na Figura 2, é possível constatar por meio do instrumento desenvolvido, que o empuxo é alterado de acordo com o tamanho da hélice.

A hélice D apresenta um comportamento acentuado. Com aproximadamente 70% do ciclo de trabalho, o valor de empuxo atinge o valor máximo suportado pela célula de carga. Isso ocorre devido ao tamanho da hélice, que não é indicada para esse motor. Por meio desse teste é possível constatar que o uso de hélices inapropriadas pode ocasionar danos ao motor e ao ESC. O consumo de corrente se torna elevado, provocando aquecimento dos componentes eletrônicos e,

Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

consequentemente, com a possibilidade da queima dos dispositivos eletrônicos.

As demais hélices utilizadas possuem o tamanho apropriado para o motor ensaiado, segundo o fabricante. Para esses modelos, o empuxo apresenta comportamento satisfatório, atingido seus valores máximos com aproximadamente 80% do ciclo de trabalho do PWM. Cabe salientar que os valores de empuxo iniciam com aproximadamente 40% do ciclo de trabalho do PWM e terminam em aproximadamente 80% devido a frequência utilizada para acionar o motor. A frequência utilizada é padrão do Arduino UNO. Isso representa perda de informação, pois resulta em diminuição de potência e deve ser alterado para obter melhores resultados.

É possível constatar que o modelo da hélice influencia diretamente no comportamento do empuxo. Assim sendo, o valor dessa grandeza é de fundamental importância para o projeto de novos modelos de veículos multirrotores. Portanto, nesse trabalho aplicam-se conceitos físicos como base para o desenvolvimento de uma plataforma experimental. Destina-se a testar sistemas propulsores eletromecânicos sob forma de instrumento de medição. A realização dos testes possibilita representar graficamente os valores de empuxo, auxiliando na sua interpretação com a finalidade de projetar a hélice que corresponde ao melhor desempenho do sistema propulsor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de VANTs em diversas aplicações aumenta a necessidade de investigações acerca do desempenho dessas aeronaves. No meio acadêmico há fenômenos físicos que retratam o comportamento desses sistemas. A utilização de plataformas experimentais, na verificação de grandezas de difícil observação, é direcionada para construir um instrumento de medição. A estrutura da plataforma mostrou-se satisfatória, pois apresentou rigidez suficiente para manter o correto funcionamento do conjunto. Assim como os dados obtidos, que representaram adequadamente o comportamento do empuxo do conjunto motor-hélice. O sistema apresentou-se confiável na medição do empuxo. No entanto existem outros fenômenos a serem observados e serão abordados posteriormente em outros trabalhos de investigação.

Palavras-chave: Multirrotores, Instrumento de medição, RPA

Keywords: Multicopter, Measuring instrument, RPA

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERGS as bolsas concedidas para a execução do trabalho investigativo, à UNIJUI e ao GAIC (Grupo de Automação Industrial e Controle).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDT, J. B.; SELIG, M. S. *Propeller Performance Data at Low Reynolds Numbers*. 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting. Orlando, FL, 2011.

GABRIEL, D. L.; MEYER, J. e PLESSIS, du F. *Brushless DC Motor Characterisation and Selection for a Fixed Wing UAV*. Africon - The Falls Resort and Conference Centre, Livingstone, Zambia, p. 1-6, 2011.

WERNECK, M. M. *Transdutores e Interfaces*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. LTC - Livros Técnicos Científicos S.A. 1996.