

PARÂMETROS DAS SUPERFÍCIES DE CONTROLE PARA ESTABILIDADE LONGITUDINAL ESTÁTICA DE UM PRÓTOTIPO DE AERODESIGN RÁDIO-CONTROLADO

Paulo André Magalhães Pimentel¹, Marcos Dantas Dos Santos^{2*}, Antonio Claudio Kieling³, Sandro Lino Moreira de Queiroga⁴; Bruno Mello de Freitas⁵

¹Discente de graduação em Engenharia Elétrica – UEA. Bolsista FAPEAM / UEA. e-mail: andre_magalhaes07@hotmail.com;

²Professor MSc. do curso de Engenharia de Controle e Automação– IFAM. e-mail: marcosdantas73@hotmail.com

³Professor Dr.do curso de Engenharia Mecânica – UEA. e-mail: antonioclaudiokielling@yahoo.com.

⁴Professor MSc. do curso de Engenharia de Controle e Automação – IFAM. e-mail: linoqueiroga@gmail.com

⁵Professor MSc. e Pesquisador do curso de Engenharia de Materiais – UEA. e-mail: bfreitas@uea.edu.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: A determinação dos parâmetros das superfícies de controle (aileron, profundor e leme) é uma importante tarefa para realizar os movimentos desejados em um protótipo de *aerodesign* rádio-controlado. Neste contexto, busca-se elaborar uma maneira simplificada de dimensionamento e posicionamento das superfícies de controle para uma aeronave aplicada à competição SAE Brasil, de forma que, tais feitos contribuam para uma boa estabilidade estática da aeronave. Para alcançar tal objetivo, foi feito um estudo das superfícies de comando, envolvendo estudos bibliográficos, análises de equações necessárias e simulações em ferramentas computacionais específicas, como o XFLR-5. Após se obter os resultados das dimensões para ailerons, leme de direção e profundor, comparou-se os valores com diversos relatório de equipes mais experientes na competição e em artigos, verificou-se que os mesmos estavam dentro de valores padronizados.

PALAVRAS-CHAVE: *Aerodesign*, Estabilidade, Aileron, Profundor, Leme

PARAMETERS OF CONTROL SURFACES FOR STABILITY LONGITUDINAL STATIC IN A RADIO-CONTROLLED PROTOTYPE AERODESIGN

ABSTRACT: The parameters determination of control surfaces (aileron, helm., elevator) is an important task, to perform the desired movements in a radio-controlled prototype aerodesign. In this context, it seeks to establish a simplified way of dimensioning and positioning of the control surfaces for an aircraft applied to SAE Brazil competition, so that such made to contribute to a good static stability of the aircraft. To achieve this objective, a study was made of the control surfaces, involving bibliographical studies, equations necessary analyzes and simulations on specific computational tools, such as XFLR-5. After obtaining the results of the dimensions for ailerons, elevator and helm direction, comparing the values with different reporting experienced staff and in articles, it was found that they were within the standardized value.

KEYWORDS: Aerodesign, Stability, Ailerom, Helm, Elevator

INTRODUÇÃO

A importância do estudo das superfícies de controle de uma aeronave reside no fato de que as mesmas são responsáveis por quaisquer tipos de movimentos desejados que um aeromodelo venha a realizar, ou seja, determinando as dimensões e posições das mesmas, o avião responderá conforme o requerido. Segundo Anderson (2010), estabilidade é a tendência de uma aeronave a retornar à sua

condição inicial se perturbada por algum distúrbio, como uma rajada de vento ou turbulências. Este é o principal objetivo desta pesquisa, fazer com que o avião possua boa estabilidade. Isto se dará através do manuseio das superfícies de controle, pois as mesmas possuem influência direta em tal parâmetro. As possibilidades da aplicação da estabilidade a um sistema estão representadas na Figura 1.

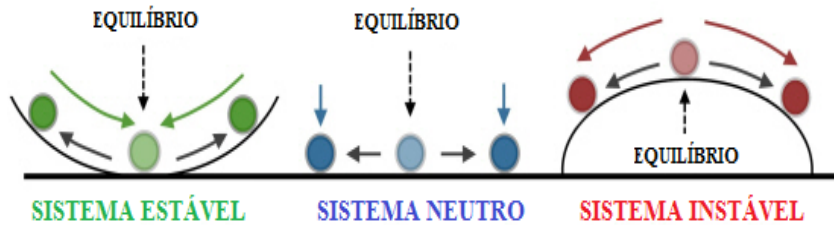


Figura 1 – Representação do parâmetro estabilidade. Fonte: <http://www.woseba.de>

De acordo com Kroo (2001), a aeronave em si possui três eixos de controle: longitudinal, lateral e vertical. Em cada um dos eixos, a aeronave é capaz de realizar determinado movimento permitido por uma das superfícies de controle, conforme mostra a Figura 2. São elas: ailerons (eixo longitudinal), profundor (eixo lateral) e leme de direção (eixo vertical).

Os ailerons são responsáveis pelo movimento conhecido como rolagem da aeronave. Os dois trabalham em sentidos contrários, pois, por exemplo, caso se deseje que a aeronave incline-se para um lado, é necessário que o aileron de uma das asas seja defletido para baixo e o outro para cima. O aileron que foi defletido para baixo ocasionará um aumento de sustentação na sua respectiva asa, fazendo com que a mesma seja elevada.

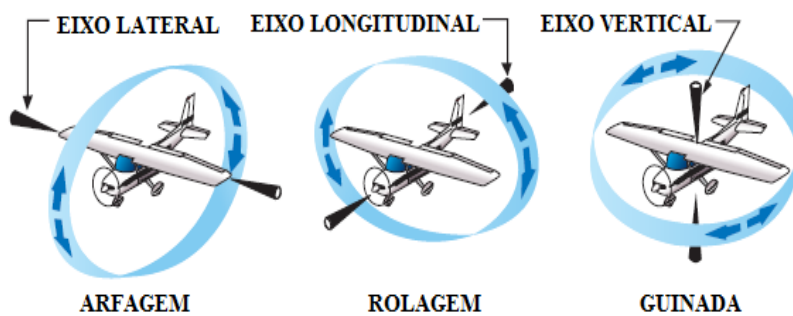


Figura 2 – Eixos e movimentos da aeronave. Fonte: <http://docplayer.com.br/>

O profundor permite que a aeronave realize os movimentos conhecidos como arfagem, os quais consistem em movimentar o nariz da aeronave para cima e para baixo. Ao defletir o profundor para baixo, há uma elevação do nariz do avião. Caso contrário, há um abaixamento do mesmo. Por sua vez, o leme de direção permite ao avião realizar os movimentos chamados de movimentos de guinada, que consistem em posicionar o nariz do avião para o lado direito e para o lado esquerdo. O leme deve ser defletido para o lado que se deseja guinar o avião. As superfícies de controle estão representadas na Figura 3.



Figura 3 – Representação das superfícies de controle. Fonte: <http://www.aeromodelismoonline.com.br>

Segundo Da Rosa (2006), a capacidade de controle do avião, ou seja, sua habilidade de realizar bons comandos e boas manobras depende da eficiência da atuação das superfícies de controle, portanto da intensidade das forças e momentos gerados. Sendo assim, há certa ligação inversa entre o bom comando da aeronave e sua estabilidade, pois, muitas vezes fazendo com que os servomecanismos atuem mais rápido nas superfícies de controle, há determinada diminuição de estabilidade. E quando a aeronave apresenta-se estável demais, pode haver problemas para a movimentação do avião para a realização de manobras.

Neste contexto, busca-se elaborar uma maneira simplificada de dimensionamento e posicionamento das superfícies de controle para uma aeronave aplicada à competição SAE Brasil, de forma que tais feitos contribuam para uma boa estabilidade estática da aeronave. Para alcançar tal objetivo, foi feito um estudo das superfícies de comando, envolvendo estudos bibliográficos, análises de equações necessárias e simulações em ferramentas computacionais específicas do ramo, como o XFLR-5.

E através das simulações e do levantamento de dados realizado, será definido qual a configuração ideal para cada superfície, ou seja, esta etapa que será a responsável por verificar qual a melhor maneira do profundor e leme de direção (conjunto conhecido como empenagem da aeronave) ficarem posicionados um em relação ao outro, assim como também será essa etapa que definirá qual a melhor região da asa para que os ailerons sejam posicionados. A próxima etapa consiste no equacionamento que definirá quais as dimensões para as três superfícies de comando.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os itens utilizados para a pesquisa foram baseados em levantamentos de dados teóricos, além de equações pesquisadas em bibliografias relacionadas e simulações em ferramentas computacionais. Partindo da premissa do fluxograma da Figura 4, pôde-se realizar o estudo de acordo com o requerido.

Determinação dos itens a serem analisados

Primeiramente definiu-se os itens que influenciam diretamente na estabilidade da aeronave, ou seja, suas superfícies de controle. Sendo assim, elaborou-se uma pesquisa de modo que fossem encontrados os parâmetros que as mesmas deveriam obter para colaborar positivamente com a estabilidade do avião, desde as restrições que os mesmos deveriam possuir como também as margens

adotadas para os parâmetros calculados. Sendo assim, elaborou-se tal fluxograma mostrado na Figura 4, a seguir:

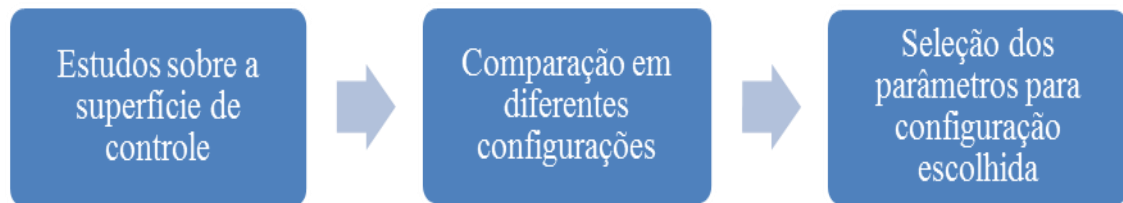


Figura 4 – Fluxograma do projeto

Segundo Miranda (2011), para as configurações de empenagens, conjunto formado pelo leme e profundor, existem quatro principais tipos: empenagem em V, empenagem em H, empenagem em T e empenagem convencional. Com base nessa afirmação, buscou-se as vantagens e desvantagens de cada uma dessas configurações, para o início do levantamento de dados teóricos para a pesquisa. Para o caso do aileron, os mesmos passos foram seguidos.

O projeto conceitual desta pesquisa baseou-se na definição das posições que as superfícies deveriam obter. Após isso, foram realizadas simulações no software XFLR-5 para analisar o comportamento das superfícies da empenagem quanto ao fluxo de ar através das superfícies.

Cálculos dos parâmetros

Segundo Miranda (2011) e Da Rosa (2006), algumas das principais equações que regem a estabilidade da aeronave, relacionadas ao dimensionamento das superfícies, são as seguintes:

Cálculo do centro de gravidade:

$$\frac{\sum W \cdot d}{\sum W} \text{ Equação 1}$$

Onde W: peso dos componentes, d: distância dos componentes a partir de uma referência adotada.

Cálculo do volume de cauda horizontal:

$$V_{HT} = \frac{l_t \cdot S_{HT}}{S_W \cdot \bar{c}} \text{ Equação 2}$$

Onde : l_t :distância do CG da aeronave ao CA (centro aerodinâmico) da empenagem horizontal, S_t : área do profundor, S_W : área da asa, c : corda média da asa.

O centro aerodinâmico é definido como o ponto no qual o momento atuante independe do ângulo de ataque e portanto é praticamente constante.

Cálculo do volume de cauda vertical:

$$V_{VT} = \frac{l_t \cdot S_{VT}}{b \cdot S_W} \text{ Equação 3}$$

Onde: l_t : distância do CG da aeronave ao CA da empenagem vertical, S_{vt} : área do leme de direção, b : envergadura da asa, S_w : área da asa.

Cálculo do comprimento do aileron:

$$C_{Aileron} = 0,40 \cdot \frac{b}{2} \text{ Equação 4}$$

Onde: b : envergadura da asa

Cálculo da largura do aileron:

$$C_{Aileron} = 0,25 \cdot \bar{c} \text{ Equação 5}$$

Onde: \bar{c} : corda média da asa

Cálculo da razão de aspecto:

$$AR = \frac{b}{c} \text{ Equação 6}$$

Onde: b : envergadura e c : corda, para a asa. Para o profundor e leme, seria equivalente dizer que b representa o comprimento e c representa a largura dos mesmos.

A partir das equações presentes acima, é possível encontrar um valor para a área das superfícies vertical e horizontal da empenagem, ou seja, é possível determinar largura e altura que as mesmas possam possuir de modo que atendam à área encontrada. Para delimitar os valores que esses parâmetros devem possuir, existe uma correlação com o alongamento do profundor (superfície horizontal) e o alongamento do leme de direção (superfície vertical).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão representados os quatro modelos de empenagem detalhadas na Tabela 1, as mesmas foram sujeitas à simulação no software XFLR-5. Analisando as Figura 5-a,b,c e d, nota-se que a configuração de empenagem em H é o modelo que possui uma menor formação de vórtices, conseqüentemente possuindo um menor arrasto induzido, contribuindo positivamente para a sustentação na superfície.

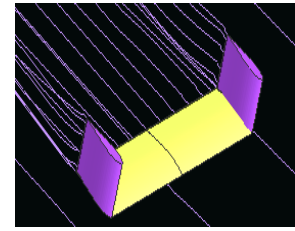
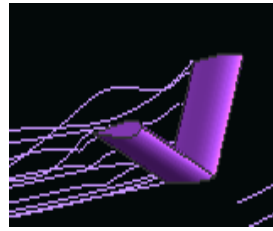
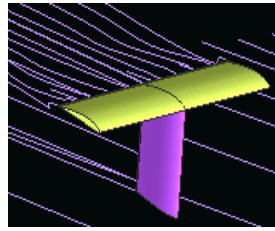
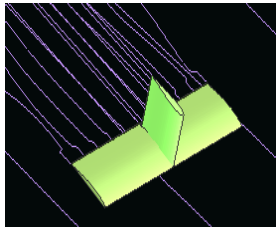


Figura 5 (a) – Empenagem convencional **Figura 5 (b)** – Empenagem em T **Figura 5 (c)** – Empenagem em V **Figura 5 (d)** – Empenagem em H

Tabela 1. Levantamento de dados sobre os tipos de empenagens

Modelo	Descrição	Vantagens	Desvantagens
Empenagem Convencional	Estabilizador horizontal é posicionado abaixo do estabilizador vertical	Menor peso estrutural em relação aos demais modelos	Não há estruturas que amenizem a esteira de vórtices formada pelo fluxo de ar
Empenagem T	Estabilizador horizontal e profundo montados acima do estabilizador vertical	As superfícies estão fora do fluxo de ar da asa (melhor controle de arfagem)	Estabilizador vertical requer forte estrutura e a aeronave fica mais suscetível ao estol
Empenagem V	Duas estruturas inclinadas nas extremidades da cauda que combinarão as funções de profundo e leme	Reduz a área molhada da empenagem e propicia um menor arrasto de interferência	Requer um sistema de controle mais complexo que os demais modelos
Empenagem H	Conjunto de lemes duplos posicionados nas bordas direita e esquerda do profundo	Os lemes funcionam como winglets e amenizam a esteira de vórtices formada	Maior número de servos utilizados na aeronave para garantir-se o bom controle da mesma

É importante ressaltar que as simulações representam condições de voo ideais, ou seja, as mesmas não implicam na existência de alguma interrupção momentânea do voo, como, por exemplo, uma súbita rajada de vento. Inclusive, isto seria algo interessante a se acrescentar em pesquisas futuras. O estudo dos ventos em termos meteorológicos seria de grande benefício para uma pesquisa dessa área, visto que eles tem ligação direta com o efeito da estabilidade.

Segundo Padilha (2012), a eficiência aerodinâmica da empenagem H comprova-se pela distância e uniformidade apresentadas pelas esteiras de ar do conjunto empenagem em relação à asa da

aeronave. Por esse motivo, optou-se por realizar os cálculos sobre dimensionamento para esse tipo de empenagem

Segundo Miranda (2011), o alongamento, também chamado de razão de aspecto, é um parâmetro adimensional utilizado para melhorar o desempenho da asa, pois com seu aumento é possível reduzir de maneira significativa o arrasto induzido. A margem para a razão de aspecto da asa, ou seja, a razão entre a envergadura da asa e a corda da mesma, está em torno de 4,0 para um avião estável. O AR do profundor utilizado foi em torno de 3,0 e para o leme, o AR foi em torno de 1,0.

Obtendo os dados cedidos pela área de Aerodinâmica da equipe Urutau AeroDesign 2015, presentes na Tabela 2, as margens dos parâmetros, chegou-se às seguintes dimensões para a aeronave de 2015. Através de Miranda (2011), obtém-se as seguintes margens para os valores de volumes de cauda horizontal e vertical:

$$0,35 \leq V_{HT} \leq 0,5$$

$$0,04 \leq V_{VT} \leq 0,06$$

Tabela 2. Informações de Aerodinâmica

Envergadura	2,80 m
Área da asa	0,78 m ²
Área do profundor	0,075 m ²
Área do leme	0,021 m ²
Corda média da asa	0,28 m
Alongamento da asa	10,05 m

Tabela 3. Dimensões do leme de direção

Leme de direção	
Envergadura	Corda
150 mm	140 mm

Tabela 4. Dimensões do profundor

Profundor	
Envergadura	Corda
500 mm	560 mm

Analisando as Tabelas 3 e 4, calculando-se os valores da razão de aspecto para leme e profundor, as quais resultam, a partir da Equação 6, respectivamente, em 1,07 e 3,6. Sendo assim, os dois alongamentos estão dentro das margens corretas para contribuir positivamente para a estabilidade.

Para o aileron, as equações utilizadas para determinar o comprimento e largura dos mesmos foram as Equações 4 e 5. Após se obter os resultados das dimensões para ailerons, leme de direção e profundor, comparou-se os valores com diversos relatório de equipes mais experientes na competição e verificou-se que os mesmo estavam dentro do padrão geral. Também se pesquisou sobre artigos que abordassem a respeito do tema. De acordo com Antunes (ISEL, 2008), as margens utilizadas para se obter os valores das dimensões estão dentro do especificado, garantindo, assim, uma certificação do método utilizado.

Tabela 5. Dimensões dos ailerons

Aileron	
Comprimento	Largura
70 mm	560 mm

Sobre o posicionamento do Aileron, segundo Miranda (2011), em uma asa retangular, o ponto do primeiro estol ocorre em uma região localizada entre o centro e a raiz da asa, e tal situação é demasiadamente indesejada, pois a perda de sustentação é extremamente preocupante para a capacidade de rolamento da aeronave. Devido a tal fato, é recomendável localizar os ailerons nas pontas das asas.

Outro benefício da escolha dos ailerons localizados nas pontas das asas é que o estol, quando iniciado próximo à raiz da asa, não afetará a região mais próxima da ponta da mesma, o que permite a recuperação do voo da aeronave fazendo-se uso dos ailerons em suas posições comuns.

CONCLUSÕES

A importância do correto dimensionamento das superfícies de controle de uma aeronave é indiscutível, visto que as mesmas são as responsáveis por permitir que o avião realize seus movimentos corretamente, além de auxiliarem no retorno do mesmo à sua condição ideal após um distúrbio ocorrido durante o voo. E, através de pesquisas bibliográficas, tabelas comparativas, simulações e verificação com outros trabalhos concluídos, obteve-se as equações e informações necessárias para dimensionar os ailerons, o profundor e o leme de direção da aeronave de 2015 da Equipe Urutau AeroDesign, de modo que tais superfícies contribuíssem para o bom desempenho da mesma.. Outra sugestão seria o estudo mais detalhado sobre o comportamento das superfícies com a utilização de um túnel de vento, assim como também, conforme foi citado no texto da pesquisa, seria interessante um estudo meteorológico sobre os ventos que atuam na região que se deseja pôr a

aeronave para cumprir seu objetivo de voar, visto que essas informações seriam de grande utilidade para a estabilidade do avião.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Equipe Urutau AeroDesign, à FAPEAM e à Universidade do Estado do Amazonas por tornarem esta pesquisa possível.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, P. J. R.. **Dimensionamento, estudo e controle de um aerodino**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa –DEM. Lisboa: 2008.
- KROO, I. **Aircraft Design: Syntesis and Analysis**. Stanford: Desktop Aeronautics, 2001.
- MIRANDA, L. E. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica**. São Paulo: IFSP, 2011.
- NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- PADILHA, B. R.; ZAIONS, D. R.; SPULDARO, E.. **Projeto aerodinâmico, estabilidade e controle de um veículo aéreo não tipulado (VANT) de asa fixa**. Unoesc & Ciência. Joaçaba: 2012.
- ROSA, E. **Introdução ao Projeto Aeronáutico**. Florianópolis, CT-UFSC, 2006.