DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UMA ASA PARA O PROJETO DE AERODESIGN EMPREGANDO ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS E ENSAIO WHIFFLETREE

Guilherme Bruno Zan[1], Rafael Souza Barbosa[2], Wallace Amante Honorato[3], Wallisson de Paula Francisco[4], Vinicius Guilherme Barbieiro[5], Prof. Filipe Augusto Regolim[6], Prof. Dr. Vinícius Santos Andrade[7] e Prof. Dra. Mônica Maria Gonçalves[8]

[1] Graduando em Engenharia Mecânica, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, g.brunozan@gmail.com.
[2] Graduando em Engenharia Mecânica, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, rafael.sb36@gmail.com.
[3] Graduando em Engenharia Mecânica, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, wallace.honorato@hotmail.com.
[4] Graduando em Engenharia Mecânica, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, wallissondep@gmail.com.
[5] Graduando em Engenharia Mecânica, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, viniciusguilhermebarbiero@yahoo.com.
[6] Professor Coorientador, Docente da ETEC, Câmpus Mogi-Mirim. Graduado em Engenharia Mecânica, UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista, filipe.regolim@gmail.com.
[7] Professor Coorientador, Docente da UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista. Doutor em Engenharia Mecânica, USP, Câmpus São Carlos, vinicius@fae.br. Área de conhecimento: 1.01.03.04-0 Sistemas Dinâmicos.
[8] Professor Orientador, Docente da UNIFAE, Câmpus São João da Boa Vista. Doutor em Engenharia Mecânica, UNICAMP, Câmpus Campinas, monicamaria@fae.br. Área de conhecimento: 3.05.02.03-9 Aproveitamento da Energia.

Apresentado no
10º Congresso de Inovação e Tecnologia do IFSP -2019
27 e 28 de novembro de 2019- Sorocaba-SP, Brasil

RESUMO: Fundada em 1905 (mil novecentos e cinco), nos Estados Unidos a SAE International é uma das principais fontes de normas e padrões relativos aos setores aeroespacial e automotivo do mundo, tendo como sua afiliada a SAE Brasil AeroDesign que realiza anualmente a competição de aerodesign para estudantes de engenharia de todo o país. Neste trabalho apresentaremos um estudo sobre o dimensionamento e construção de uma asa usada em um aeromodelo competidor, através de cálculos analíticos. Tendo em vista que a aeronave terá uma missão à cumprir dentro da competição, preocupou-se em não só projetar a asa de forma eficiente, mas também em certificar que a mesma desempenhará sua função com êxito, através de simulações e ensaio de bancada.

PALAVRAS-CHAVE: AeroDesign; Dimensionamento estrutural; Método dos Elementos Finitos; Ensaios; Asa; Whiffletree;

STRUCTURAL DIMENSIONING OF A WING FOR THE AERODESIGN EMPLOYING FINITE ELEMENT ANALYSIS AND WHIFFLETREE TESTING.

KEYWORDS: Aerodesign; Structural sizing; Finite Element Method; Tests; Wing; Whiffletree;

INTRODUÇÃO

A SAE Brasil AeroDesign é um evento conhecido nacionalmente, onde alunos dos cursos de engenharia desenvolvem aeromodelos competidores. Neste trabalho será abordado um estudo voltado para a estrutura da asa de uma dessas aeronaves. Levando em conta um alto nível de atenção aos cálculos de seus elementos e ensaios de validação do projeto.

A equipe FALCONS.FAE vem, há dois anos, realizando o dimensionamento da estrutura da asa somente com cálculos analíticos, no entanto estes cálculos não foram suficientes para que a aeronave concluísse sua missão proposta. Logo foi sugerido um dimensionamento de sua estrutura num todo, empregando além de cálculos analíticos, mais recursos decorrentes do cotidiano de um projeto real de asa.

Entende-se então que ao se projetar a estrutura da asa haveria um déficit em seu desenvolvimento, e qual seria? Satisfazendo essa deficiência teve-se por objetivo, realizar simulações computacionais, ensaios de materiais separadamente e da estrutura totalmente pronta, assim não deixando dúvidas referentes à sua eficácia.

Os métodos escolhidos neste trabalho foram realizados um a um dando sequenciamento ao seu próximo, como cálculos de perfis de asa, esforços decorrentes na estrutura, especificação de materiais, testes dos mesmos e após o desenvolvimento, teste final.

METODOLOGIA

A princípio analisou-se todo o histórico dos últimos planos de voo da aeronave para que pontos que a não deixaram cumprir com sua missão fossem expostos com clareza. Feito isso, entendeu-se que a asa seria um componente celebre a ser projetado com maior atenção. Adotou-se então métodos e conhecimentos mais aprofundados, bem como testes de validação exclusivamente da mesma.

No decorrer deste trabalho foram tomadas medidas para que se fizesse uma nova asa, desde cálculos estruturais até escolha da cor de seu envolto. Frente a isso foi estabelecida a seguinte sequência de tópicos para o projeto: características do projeto, cargas aplicadas, dimensionamento, estudo dos materiais empregados, estudo da análise em MEF (Método dos Elementos Finitos), dimensionamento da estrutura para ensaio, ensaio final e tratamento dos resultados.

Para a execução dos tópicos acima foram usados os softwares Microsoft Excel e Microsoft Word, que possibilitaram a fácil construção de tabelas, gráficos, obtenção de valores e documentação, onde os cálculos analíticos foram todos baseados nos conteúdos bibliográficos de (Rodrigues, 2015), (Iscold, 2001), (Rosa, 2006) e (Pinto de Barros, 2000), e para a análise em MEF foram embasados em (Belytschko, 2009) e (Avelino, 2008). Com eles foi possível quantificar esforços, escolher materiais adequados, e condições a serem exigidas.

No projeto também foram usados programas de Engenharia em CAD (desenho assistido por computador, em inglês *computer aided design*) como SolidWorks e AutoCad que contribuíram fundamentalmente para dimensionar e visualizar como ficaria o projeto. Ainda nesse âmbito foi usado o Ansys, programa desenvolvido com intuito de realizar simulações computacionais em elementos de engenharia, a fim de simular situações reais de ocorrência atestando os cálculos e dimensões, que para ser quantificados levaram em conta tensão, flexão, cisalhamento e torção, entre outras formas que atuam sobre a asa.

Principais componentes da asa como as longarinas e monokote também tiveram atenção especial visto que após serem escolhidas mediante cálculos analíticos, foram submetidos separadamente a ensaios de tração, respeitando detalhadamente a norma cabível (NBR 6892) a tal ensaios, os colocando a altura de projetos reais entregues ao mercado.

Após a análise positiva dos materiais, ocorreu a construção da asa, onde depois de pronta e preparada foi engastada a uma estrutura, simulando a fixação na fuselagem do avião e assim submetida a um ensaio real, o Whiffletree.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para gerar o desenho da estrutura foi utilizado o software SolidWorks. Que possibilita uma enorme game de recursos.

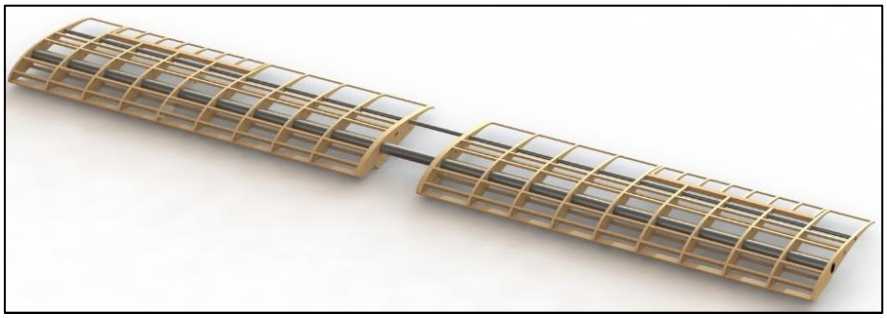

Figura 1 – desenho da estrutura da asa.

A carga de voo foi definida pela equipe de aerodesign, seguindo os cálculos feitos para o diagrama v-n.

> O diagrama *v-n* representa uma maneira gráfica para se verificar as limitações estruturais de uma aeronave em função da velocidade de voo e do fator de carga *n* a qual o avião está submetido. O fator de carga é uma variável representada pela aceleração da gravidade, ou seja, é avaliado em "g's". Basicamente um fator de carga *n* = 2 significa que para uma determinada condição de voo a estrutura da aeronave estará sujeita a uma força de sustentação dada pelo dobro do peso[..] (Rodrigues, 2015).

<u>Fator de carga limite</u>

É associado a deformação permanente. Quando uma ou mais partes do avião sofre um fator de carga *n* menor que o fator de carga limite, a estrutura irá deformar porem retornará ao estado inicial.

Para este caso, foi estipulado um fator de carga e uma carga de voo de:

$$n = 2{,}5$$

<u>Fator de carga último</u>

Representa o limite de carga para que ocorra uma falha estrutural. Onde, para o caso de o fator de carga ser maior que o fator de carga último, a estrutura com certeza sofrerá ruptura.

$$n = 3{,}8$$

Todos os dimensionamentos foram executados para os fatores de carga limite e último. Com a finalidade de identificar as características de cada método adotado.

- **Fator de carga limite**

Para o fator de carga limite foi realizada o dimensionamento pelos cálculos analíticos e o ensaio em bancada.

Figura 2 – Ensaio para fator de carga limite.

Observando os resultados dos dois métodos, para fator de carga limite, é possível perceber que em nenhum deles ocorreu a falha. O que mostra que para um estudo com tais condições, qualquer um dos métodos seria útil para aprovação do projeto.

- **Fator de carga último**

Para o fator de carga último foi realizada o dimensionamento pelos cálculos analíticos, análise MEF e o ensaio em bancada.

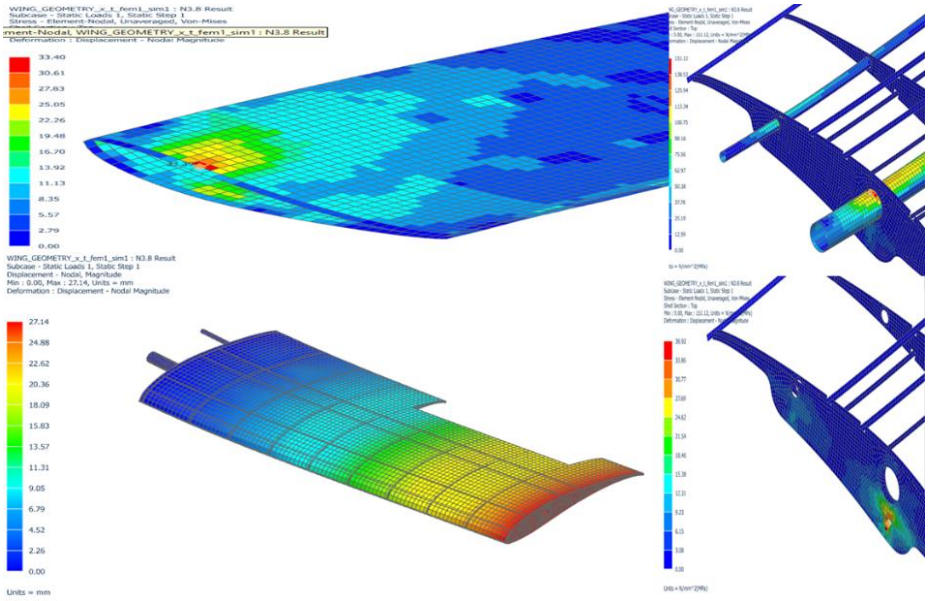

Figura 3 – Análise MEF.

Conclui-se pela análise das tensões e pelas propriedades dos materiais empregados que a semi-asa não falhará em sua condição de carregamento último.

Analisando novamente as figuras, é possível identificar que existe uma tendência de a estrutura apresentar uma falha entre os dois furos de fixação, entretanto, isso somente ocorreria para um carregamento superior ao último.

Figura 4 – Ensaio para fator de carga último.

Observando os resultados dos três métodos, para fator de carga último, é possível identificar que em nenhum deles ocorreu a falha, no entanto, em todos ocorreu a deformação permanente do material.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A equipe chegou à conclusão que todos os resultados foram satisfatórios, para ambos os casos. Onde a estrutura suportou todas as cargas e esforços propostos com eficiência conforme o projetado. Com relação aos métodos abordados, todos se mostraram eficientes e válidos, cada qual com suas pontuações.

Neste caso concluiu-se que ao se ter uma intenção de projetar a asa de forma simples e direta, o método analítico seria o mais aceito, e se mostrando útil para o caso. O método dos Elementos Finitos permite um melhor aperfeiçoamento e a verificação de possíveis falhas, já que apresenta os pontos e dimensões onde elas ocorrerão, dando a chance de melhoria do projeto. Por fim, para validar os métodos antes citados, o mais adequado seria o ensaio estrutural com o Whiffletree, que também possibilita de forma real a verificação da estrutura após submetida aos esforços calculados.

Ao abordar estes métodos, averiguou-se que o método analítico se limita a expor a falha somente na longarina principal, e não na estrutura inteira, já o MEF demanda um pouco mais de tempo e conhecimento, ao ser algo que não é tão simples e fácil de se gerar, pois precisa do desenvolvimento dos materiais utilizados. E o ensaio estrutural, mesmo eficiente, pro caso real teria a desvantagem de ter que montar a asa para que o mesmo ocorresse, onde haveria custo e perca total do material utilizado, ou seja, a asa.

Portanto o objetivo de construir e projetar uma asa de aeronave para a competição SAEBRASIL-AeroDesign foi atingido com sucesso. De forma que a mesma suportou todos os esforços requeridos e não apresentou falha, se mantendo dentro do esperado. Tornando de maneira imprescindível, para elevar suas condições de voo e competição, ser projetada abordando todos os métodos propostos e executados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

Prof. Dr. Alves Filho, Avelino. **Elementos Finitos: a Base da Tecnologia CAE / Análise Dinâmica**. 2ª Ed. do Autor. Editora Érica 2008.

Fish, Jacob e Belytschko Ted. **Um Primeiro Curso Em Elementos Finitos**. Editora LTC 1ª Ed. do autor. 2009.

Rosa, Edilson da. **Introdução ao Projeto Aeronautico: uma contribuicao a Competigäo SAE AeroDesign**. Florianópolis: UFSC/GRANTE, 2006.

Pinto de Barros, Claúdio. **Uma metodologia para desenvolvimento de aeronaves leves subsônicas**. Belo Horizonte - MG: Centro de Estudos Aeronáuticos - EEUFMG, 2000.

ISCOLD, Paulo Henrique. **Introdução às Cargas nas Aeronaves**. Belo Horizonte; Editora UFMG; 2001.

RODRIGUES, Luiz E. Miranda José. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica.** São Paulo. Cenge Learning. 1º ed. 2013.