



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580

Bloco L, 3ºAndar, Fone (11) 3356-7617 iniciacao@ufabc.edu.br

Projeto de Iniciação Científica submetido
para avaliação no Edital: 04/2022
(PIC/PIBIC/PIBITI/PIBIC-AF)

Título do projeto: Estudo Numérico do Modelo de Asa da Aeronave Phenon 300E a partir do Método dos Elementos Finitos.

Palavras-chave do projeto: Análise, estruturas, método dos elementos finitos, perfis NACA.

Área do conhecimento do projeto: Estruturas Aeroespaciais

Sumário

1 Resumo	3
2 Introdução.....	3
3 Objetivo Geral	6
3.1 Objetivos específicos:	6
4 Metodologia.....	7
4.1 Prática para a análise e simulação por elementos finitos (FEM):	7
4.2 Geometria	7
4.2 Materiais e propriedades	7
4.3 Carregamentos.	8
4.4 Fases para os procedimentos: Pré-processamento.	8
4.5 Fases para os procedimentos: Processamento.....	8
4.6 Fases para os procedimentos: Pós - processamento.	9
5 Viabilidade (Opcional).....	10
6 Cronograma	10
7 Referências	13

1 Resumo

Com o desenvolvimento tecnológico diversos softwares foram projetados para que fosse possível propiciar otimizações dos trabalhos manuais. A criação de alguns desses softwares proporcionou e promoveu soluções de problemas complexos que envolvem elementos estruturais. Dentre essas soluções numéricas pode-se destacar o método de elementos finitos, que pertence a classe de métodos numéricos utilizados para a aplicação de soluções envolvendo equações diferenciais (EDO e EDP), a partir das condições de projeto, permitindo solucionar diversos problemas reais de engenharia.

Este estudo trata-se de uma análise numérica linear e dinâmica com o objetivo de avaliar o comportamento estrutural de uma asa da aeronave executiva da Embraer Phenom 300E, aplicando o método dos elementos finitos para a investigação através de análise linear estática e dinâmica das tensões, regiões de falhas mecânicas e modos de vibração. Pretende-se também no presente projeto, realizar um estudo e dimensionamento da asa, a fim de identificar as características do perfil de aerofólio. Após os estudos geométricos, as análises simulações serão implementadas em uma ferramenta software Computer Aided Engineering (CAE), a selecionada foi o FEMAP versão estudante gratuita. Serão estudadas conjuntamente as forças que atuam na estrutura da asa como: força de sustentação, força da gravidade e outras cargas concentradas que impactam a estrutura.

2 Introdução

No século XVIII quando a técnica de elementos finitos ainda não era utilizada, grandes matemáticos desenvolviam teorias com bases analíticas para solucionar problemas complexos, muitos na época em condições limitantes, pois a tecnologia de processamento ainda não tinha sido desenvolvida. [GALLAGHER R. H., 1975] Não muito longe, no século passado, em termos de projetos e engenharia de estruturas, os engenheiros e projetistas sobreviviam de cálculos pela base teórica. Através do desenvolvimento tecnológico diversos softwares foram arquitetados para propiciar e promover uma otimização do trabalho manual, no entanto, com a criação desses

softwares é possível que engenheiros e cientistas desvendem soluções de problemas complexos que envolvem elementos estruturais.

Dentre essas soluções numéricas podemos destacar o método de elementos finitos, que pertence a classe de métodos numéricos utilizadas para a aplicação de soluções envolvendo equações diferenciais (EDO e EDP), a partir de condições de projeto, permitindo solucionar diversos problemas reais de engenharia, envolvendo por exemplo, desde problemas de estruturais até mecânica dos fluídos e transferência de calor. Os elementos finitos podem ser uni, bi ou tridimensionais, sendo que, cada elemento possui vértices e nós. Para modelar um problema físico é necessário definir alguns parâmetros como geometria, propriedades, materiais e condição de contorno. [AVELINO A. F., 2002]

O presente projeto pretende analisar numericamente utilizando o Método dos Elementos finitos, com o objetivo de avaliar o comportamento estrutural de uma asa da aeronave executiva da Embraer Phenom 300E (Fig. 1) versão aprimorada de um dos jatos executivos mais vendidos da empresa Embraer. Esse é o primeiro jato single-pilot a atingir a velocidade de Mach 0,80 e a primeira e única aeronave executiva a ter um sistema de alerta e prevenção de saídas de pista. (EMBRAER, 2022)

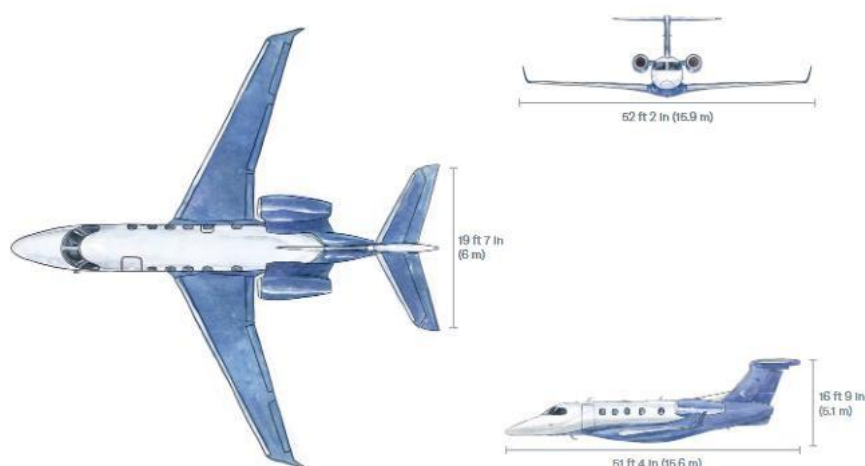
Figura 1 – Aeronave Phenon 300E.



Fonte: Embraer, 2022.

Na figura 2 e no quadro 1 são mostrados alguns dados técnicos importantes ao projeto:

Figura 2 – Dimensões aeronave Phenon 300E.



FONTE: EMBRAER, 2022.

Quadro 1 - Dados técnicos aeronave Phenon 300E.

OCCUPANTS:	8/11
RANGE (5 OCCUPANTS, NBAAA RESERVES):	2,010 nm
HIGH-SPEED CRUISE:	464 ktas
MACH:	0.80
TAKEOFF DISTANCE (MTOW, SL, ISA):	3,209/ 978 m
PROPULSION:	Prattt & Whitney PW 535E1
MAXIMUM PAYLOAD:	2,637lb/1.196 kg
MAXIMUM OPERATING ALTITUDE:	45,000 ft/13,716 m

3 Objetivo Geral

Promover um estudo baseado nas asas da aeronave executiva da Embraer através do embasamento numérico e dos princípios físicos envolvendo o modelo, utilizando ferramentas de software Computer Aided Engineering (CAE) e do método dos elementos finitos, para a investigar através de análise linear estática e dinâmica das tensões, regiões de falhas, modos de vibração e verificar o dimensionamento da asa.

3.1 Objetivos específicos:

- ✓ Inserção do pesquisador de graduação no mundo da Científico.
- ✓ Entender os princípios físicos envolvidos na problemática.
- ✓ Fazer uma análise linear e dinâmica das asas do avião executivo Phenom 300E da Embraer.
- ✓ Estudar e aplicar a metodologia teórica sobre o método dos elementos finitos sobreposto ao setor aeroespacial.
- ✓ Utilizar um software Computer Aided Design (CAD) para o desenho e modelagem da asa.
- ✓ Contribuir para a formação e inserção na pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação aprendendo de forma correta o manuseio de ferramentas de softwares para o desenvolvimento de Computer Aided Engineering (CAE).
- ✓ Elaboração de relatório técnico após a análise comparativa aos cálculos analíticos

4 Metodologia

4.1 Prática para a análise e simulação por elementos finitos (FEM):

Pretende-se no presente projeto utilizar-se da ferramenta software FEMAP que é uma ferramenta que auxilia nas análises e simulações possibilitando a criação, edição e importação (caso seja necessário utilizar um software CAD prévio). Os modelos de análises por elementos finitos no FEMAP determinam comportamentos estruturais, de acordo com os critérios de falha e características de projeto. Além da combinação de sistemas que envolvem CAD é possível integrar o FEMAP ao solver NX Nastran (versão estudante), para fornecer uma solução abrangente de análise de engenharia auxiliada por computador [SIEMENS, 2022]

4.2 Geometria

No projeto será utilizado a ferramenta Airfoil Tools para realizar um estudo e dimensionamento da asa, a fim de identificar as características do perfil de aerofólio da asa utilizado na aeronave Phenom 300e [Airfoil Tools, 2022].

O modelo de asa será realizado em uma das duas ferramentas CAD's SolidWorks ou Autodesk Inventor, onde o ponto no bordo de ataque será restringido para ser sempre a origem do sistema de coordenadas, e todos os outros pontos também restringidos com dimensões referenciando esta origem como parâmetro [Shengyong Z., Mike M., 2021] [Fan Ye, Hu Wang., 2017]. O modelo será posteriormente importado na ferramenta CAE.

4.2 Materiais e propriedades

Materiais compósitos com propriedades específicas e não usuais são necessários para diversas aplicações tecnológicas e complexas, na indústria aeroespacial, por exemplo, os engenheiros aeronáuticos sempre buscam materiais estruturais que apresentem baixas massas específicas, sejam resistentes, rígidos e tenham resistência à abrasão e ao impacto. O carbono é uma fibra de alto desempenho, sendo o reforço mais utilizado em compósitos avançados com matriz polimérica, sua predominância no setor aeroespacial, deve-se ao desempenho crítico que envolve principalmente redução de massa [Callister, 2020].

Segundo o livro Callister, outras propriedades benéficas deste material são:

- ✓ Alto módulo específico e resistência específica.
- ✓ Elevados módulos e resistências à tração mesmo sob temperaturas elevadas; a oxidação em altas temperaturas, no entanto, pode ser um problema.
- ✓ Na temperatura ambiente, as fibras de carbono não são afetadas pela umidade ou por uma grande variedade de solventes, ácidos e bases.
- ✓ Essas fibras exibem uma diversidade de características físicas e mecânicas, o que permite que os compósitos que incorporam essas fibras tenham propriedades especificamente projetadas.
- ✓ Desenvolvimento de processos de fabricação, baratos e de boa relação custo-benefício.

4.3 Carregamentos.

Nesta etapa serão analisadas as forças que atuam na estrutura da asa como força de sustentação, força da gravidade e outras cargas concentradas que impactam a estrutura. O peso da estrutura da asa será calculado considerando a entrada de densidade do material no pré-processamento, já os carregamentos de sustentação e momento na asa será aplicado sobre cada uma das nervuras distribuídas ao longo do comprimento da asa [Khodijah K. R., Aditya P., 2018].

4.4 Fases para os procedimentos: Pré-processamento.

Nesta fase se define propriedades e geometria do objeto físico que será analisado, iniciando a partir de questionamentos gerados para analisar a estrutura de acordo com os seus critérios de falhas, logo após, elabora-se um planejamento com definições como os materiais, propriedades. Seleciona-se uma ferramenta CAD vinculada a desenhos e modelagens da geometria da estrutura da asa.

4.5 Fases para os procedimentos: Processamento.

Quando ocorre a etapa de processamento designa-se definições como tipo de análise que será utilizado, as condições de contornos que serão posteriormente operadas para a análise e aplicação dos resultados de acordo com o critério de falha implementado.

4.6 Fases para os procedimentos: Pós - processamento.

Essa fase do projeto, é o momento em que ocorre a análise pelo projetista. Verifica-se se os resultados são condizentes com os cálculos analíticos e teóricos. Também se utiliza o teste de convergência das malhas para conferir se as dimensões estão adequadas e investiga-se possíveis singularidades. Aplicação da margem de segurança nos cálculos.

De forma resumida, o que foi dito anteriormente pode ser descrito da seguinte forma:

Tabela 2 – Descrições das fases e procedimentos: Análise método dos elementos finitos.

Etapas:	
Pré-processamento	
Desenho e modelagem:	Utilização de um software CAD
Modelo FEM	✓ Importação da geometria do software de desenho CAD para o software de simulação CAE. ✓ Criação dos Materiais. ✓ Criação de propriedades. ✓ Geração de malhas em elementos finitos.
Matriz de rigidez do elemento	
Matriz de rigidez global	
Processamento	
Implementação das Condições de contorno	✓ Aplicação das cargas e definições
	✓ Aplicação das restrições e definições
Resolução das Equações constitutivas	✓ Dar início a análise ✓ Definição do modelo de análise ✓ Aplicar a análise para os resultados
Solução da análise utilizando o solver Nastran	
Pós- processamento	
Avaliação das análises:	✓ Visualização dos resultados (pós-processamento)

5 Viabilidade (Opcional)

Neste projeto de iniciação científica para a realização do trabalho será utilizado softwares CAD como SolidWorks ou Inventor para desenhos através das informações técnicas que se estima conseguir no site da Embraer e para a simulação o provavelmente o software CAE Femap com o solver Nastran (versão estudante). Até o momento o discente possui acesso gratuito a todas as ferramentas que até então serão utilizadas.

6 Cronograma

Cronograma de atividades

1. Etapa 1

Etapa 1.a.

- ✓ Requisição de alguns dados técnicos do avião executivo Phenom 300E no site da Embraer.

Etapa 1.b.

- ✓ Revisão da proposta de pré-projeto e acréscimo de novas definições e considerações sobre o tema.
- ✓ Seleção de perfis NACA.

Etapa 1.c.

- ✓ Revisão bibliográfica e estudo que incluem FEM.

2. Etapa 2

Etapa 2.a.

- ✓ Fase do pré-processamento, definir parâmetros como propriedades e geometria do objeto físico que será analisado, critérios de falhas, modelos de materiais, propriedades.

Etapa 2.b.

- ✓ Análise analítica, cálculos, definição de parâmetros como o Método de Elemento finito.

Etapa 2.c.

- ✓ Início do desenho das geometrias para posteriormente realizar a importação para o software CAE e anexar ao trabalho.
- ✓ Criação dos Materiais, criação de propriedades e geração de malhas em elementos finitos.

Etapa 2.d.

- ✓ Relatório parcial.

3. Etapa 3

Etapa 3.a.

- ✓ Implementação das condições de contorno, aplicação de cargas, restrições e definições.
- ✓ Etapa 3.b.
- ✓ Resolução das equações constitutivas, início da análise par a verificação da solução no solver Nastran e aplicação dos resultados.

Etapa 3.c.

- ✓ Avaliação das forças tensões e descolamentos, visualização, análise e interpretação dos resultados.

Etapa 3.d.

- ✓ Relatório final.

Tabela 2 – Durações das etapas de acordo com os meses.

Etapa	Mês											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1.a.	X	X	X									
1.b.		X	X	X								
1.c.			X	X	X							
2.a.				X	X	X						
2.b.					X	X	X					

[illegible]

7 Referências

[1] **GALLAGHER, R. H.** Introduction. In: _____. **Finite element analysis: fundamentals**. 4. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975. cap. 1, p. 1-19.

[2] **AVELINO ALVES FILHO** “*Elementos Finitos, A base da tecnologia CAE*”, . 5ª Edição – Editora Érica.

[3] **EMBRAER** . “*Avião executivo Phenom 300e*”, **2022**.

Acesso em: <https://executive.embraer.com/br/pt/phenom-300e>

[4] **EMBRAER** . “*Avião executivo Phenom 300e original eletronic version*”, **2022**.

Acesso em:

<https://daflwcl3bnxyt.cloudfront.net/m/268aab3188e0768/original/Phenom-300Ehttps://daflwcl3bnxyt.cloudfront.net/m/268aab3188e0768/original/Phenom-300E-eletronic.pdf>

[5] **ERIVELTON, G.N.** “*Métodos numéricos aplicados a elementos finitos*”, **2016**.

Acesso em:

https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/nepomuceno/mn/22MN_EDO5.pdf

[6] **SIEMENS**. “*Minimize costly prototyping & bring your products to market faster*”,

2022. Acesso em:

<https://www.plm.automation.siemens.com/global/pt/products/simcenter/femap.html>

[7] **FELIPE S. L.** “*Análise estrutural de uma longarina compósita para uma aeronave esportiva leve*”, universidade federal de Campina Grande, **2018. Acesso em:**

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/10347/1/FELIPE%20SILVA%20OLIMA%20-%20DISSERTA%C3%87%C3%83O%20%28PPGEM%29%202019.pdf>

[8] **Shengyong Zhang , Mike Mikulich** . “*Parametric CAD Modelling of Aircraft Wings for FEA Vibration Analysis*”, Department of Mechanical and Civil Engineering, College of Engineering and Sciences, Purdue University Northwest, Westville USA, **2021. Acesso em:** <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=109111>

[9] **Khodijah K. R., Aditya P., and Dr. Ing. Mochammad A. M.,** “*Design of High Altitude Long Endurance UAV: Structural Analysis of Composite Wing using Finite Element Method*”, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Bandung Institute of Technology Indonesia, **2018. Acesso em:**

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1005/1/012025/pdf>

[10] **W. D. Callister e David Rethwisch,** “*Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução*”, 10ª. edição, Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2020; William D. Callister e David G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: an introduction*, 10a. edição, Wiley, **2020.**

[11] **IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.** “*IPT participa de feira sobre compósitos com fuselagem de avião produzida com fibra de carbono*”, **2016. Acesso em:**

https://www.ipt.br/centros_tecnologicos/LEL/noticias/1162-inovacao_na_aviacao.htm

[12] **AIRFOIL TOOLS,** “*Airfoil profiles*”, **2022. Acesso em:** <http://airfoiltools.com/>

[13] **Fan Ye, Hu Wang.** “*A simple Python code for computing effective properties of 2D and 3D representative volume element under periodic boundary conditions*”, Hunan University, Changsha 410082, P.R. China, **2017. Acesso em:**

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1703/1703.03930.pdf>