

Final results of topology optimization of a stringer using MATLAB program and comparison with Ansys software.

Da Silva Maschietto. Julia¹, Araujo da Silva. Marcelo²

¹Estudante de graduação UFABC

Rua Arcturus, 03 (Jd Antares), Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil

julia.maschietto@aluno.ufabc.edu.br

² Professor de Engenharia Aeroespacial, CECS (Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas), Universidade Federal do ABC (UFABC)

Rua Arcturus, 03 (Jd Antares), Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil

Marcelo.araujo@ufabc.edu.br

Abstract. Esta pesquisa tem como intuito apresentar o resultado final das otimizações realizadas nos softwares Ansys® e MATLAB. Calculou-se as tensões máximas e mínimas em ambos os softwares a fim de realizar otimizações a partir de dois métodos: redução de energia e espessura comparando-as com a Otimização Topológica do software Ansys Mechanical e otimização paramétrica do software Ansys AIM. Após a coleta dos resultados, os resultados serão apresentados e por fim, a apresentação de sugestões para trabalhos futuros.

Keywords: Otimização, MATLAB, Elementos Finitos, Ansys.

1. Introdução

Tendo em vista o crescimento do setor industrial no Brasil, inclusive aéreo, fazer análises dos componentes é uma prática muito importante, pois economiza-se recursos como tempo, material e consequentemente, dinheiro.

Este trabalho contribui para a análise das vantagens dos processos de otimização.

2. Definição das condições de projeto

2.1 Carregamento na asa

O carregamento usado no modelo da longarina deste presente trabalho será retirado do projeto de uma aeronave competidora de Aerodesign 2019, realizado pela área de Cargas e Aeroelasticidade da equipe Harpia Aerodesign UFABC. Para simular os carregamentos, foi utilizado o programa Tornado VLM, baseado no método numérico de Vortex-Lattice e posteriormente obtidas as condições de carregamento nas fases de voo. A velocidade máxima foi selecionada como de maior criticidade.

Aos carregamentos foi adicionado um Fator de segurança de 1,5 e os valores em cada posição estão denotados na tabela 1.

Tabela 1. Relação posição x Carga na $V_{Máx}$

Posição [m]	Carregamento [N]
0,0948	23,294
0,2049	30,819
0,31527	22,732
0,47297	36,750
0,63053	34,580
0,78823	31,379
0,9458	26,060
1,1027	22,901
1,292	11,772

2.2 Geometria

Para as análises considerou-se apenas a alma da longarina em formato I, simplificando o problema para uma longarina de seção retangular. As dimensões usadas aproximam-se de uma longarina de um avião competidor de Aerodesign.

Tabela 2. Dimensões alma

Variável	Símbolo	Valor[m]
Altura	x_1	0,04
Comprimento	L	1,292
Espessura	x_0	0,023

2.3 Material

Escolheu-se o alumínio 7075-T651 para análise, conhecido como alumínio aeronáutico, cujas propriedades estão denotadas na tabela.3. Inicialmente, a alma em seção retangular possui massa de 3,3 kg.

Tabela 3. Propriedades mecânicas do Alumínio 7075-T651

Propriedade	Unidade	Valor
Densidade (ρ)	Kg/m ³	2800
Limite de Escoamento	MPa	490
Limite de resistência à tração	MPa	540
Módulo de Elasticidade	GPa	71

2.4 Malha

2.4.1 MATLAB

Modelou-se a malha no MATLAB com o código de elementos finitos capaz de gerar elementos retangulares, usando como parâmetros a altura, comprimento da viga, divisões dos elementos e conectividade entre eles. A partir disso, definiu-se as dimensões do problema tais como número de nós, graus de liberdade por nó e número de deslocamentos do sistema.

2.4.2 ANSYS

A malha no ANSYS é gerada automaticamente tendo o mesmo princípio do MATLAB, baseada na descrição dos elementos finitos, onde o modelo é dividido em vários elementos menores e nós, possibilitando a resolução das equações diferenciais parciais. Para este trabalho, tentou-se manter o mesmo padrão de malha do MATLAB, ou seja, mesma divisão de elementos em x em y.

2.5 Aplicação das cargas, apoios cálculo tensão inicial ANSYS

A viga é simplesmente apoiada, na extremidade, fig.1 e as cargas extraídas serão aplicadas na longarina diretamente, usando a ferramenta “remote force” no software ANSYS. Para o MATLAB as cargas são colocadas nos nós dos elementos. Pode-se calcular na sequência a tensão de Von Mises. cujo valor foi de 100 MPa.

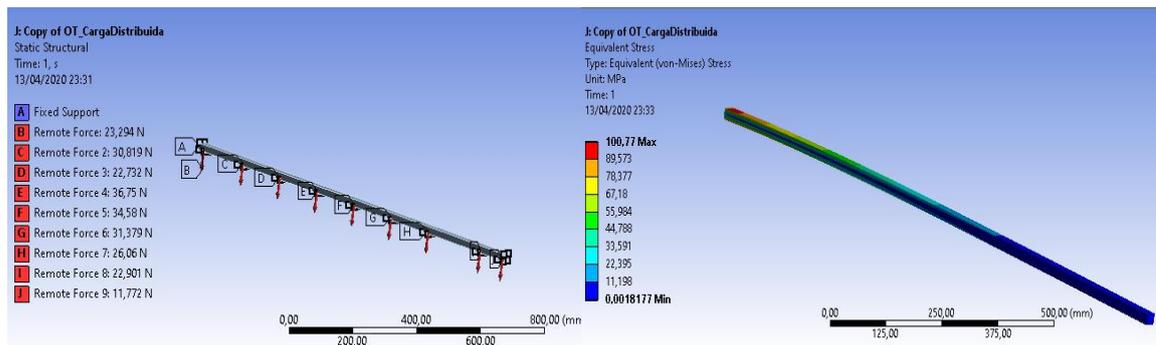


Figura 1. Condições de contorno gerais e tensão de Von Mises

3. Análise das tensões no MATLAB

Após parâmetros de malha definidos, a matriz rigidez pode ser montada, juntamente com a definição das constantes, reações de apoio e carregamento e propriedades do material. Por fim, os deslocamentos e tensões são calculados através de algoritmos de elementos finitos.

Referenciando R.C. Hibbeler, Resistência dos Materiais, o material está sujeito a tensões no plano. O estado de tensão é representado pela combinação das tensões normais (σ_x e σ_y) e cisalhante τ_{xy} .

Para determinar as tensões máxima e mínima deve-se calcular σ_1 e σ_2 .

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (1)$$

Dependendo do sinal escolhido a tensão normal resulta-se em máxima ou mínima no plano em que $\sigma_1 \geq \sigma_2$. Esse conjunto particular de valores é denominado tensões principais no plano, e os planos correspondentes sobre os quais agem são denominados planos principais de tensão.

A tensão de cisalhamento máxima pode ser calculada (2)

$$\tau_{xy} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2)$$

Por fim, a tensão média é dada por (3) e os resultados das tensões para a espessura inicial de 0,023 m são mostrados na tabela 4

$$\sigma_{\text{média}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (3)$$

Tabela 4. Tensões calculadas

σ_1 [MPa] (máxima)	σ_2 [MPa] (mínima)	τ [MPa] (máxima)
0,3	0,008	1,45

4. Processo de otimização

4.1 MATLAB

4.1.1 Método da redução da espessura

O código foi realizado com base no livro Otimização de Projetos, Brasil e Silva, 2017, que traz no capítulo 6, otimizações realizadas no MATLAB. A função objetivo é denotada em (4).

$$F(x) = A * L * \rho \quad (4)$$

Onde A e L são respectivamente área e comprimento da viga. A tensão máxima deverá ser menor que a admissível (5), e a i-ésima espessura deverá ser maior ou igual à mínima definida (6).

$$|\sigma| \leq |\sigma_{\text{admissível}}| \quad (5) ; e_i \geq e_{\text{mín}} \quad (6)$$

Como resultado, a espessura foi reduzida a 0,01 m. A massa pode ser calculada conforme (7) e as tensões recalculadas estão denotadas na tabela 5.

$$m = x_0 * x_1 * L * \rho \quad (7)$$

Tabela 5. Tensões calculadas pós otimização

σ_1 [MPa] (máxima)	σ_2 [MPa] (mínima)	τ [MPa] (máxima)
0,7	0,0018	0,33

4.1.2 Método da energia

Referenciando Timoshenko, Mecânica dos Sólidos e Prof. Elson Magalhães Toledo et.al ,Apostila de

Resistência dos Materiais II, o critério de falha de Von Mises, conhecido também como máxima energia de distorção, é muito utilizado para falhas em materiais isotrópicos. O estado de escoamento é atingido quando a energia do material for maior ou igual à energia de escoamento.

Calculou-se a energia de distorção (8) considerando a lei de Hooke para casos gerais.

$$u = \frac{1}{12G} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (8)$$

Onde, σ_1 , σ_2 e σ_3 são as tensões principais. σ_1 e σ_2 foram encontradas no algoritmo, e $\sigma_3 = 0$. G é o módulo de elasticidade do material, parâmetro constante. A densidade de energia de distorção em um corpo no momento em que atinge o limite de escoamento é dado por (9)

$$U_{d \text{ esco}} = \frac{1}{6G} \sigma_{\text{esco}}^2 \quad (9)$$

O escoamento ocorre quando $u \geq U_{d \text{ esco}}$.

A energia de escoamento ($U_{d \text{ esco}}$) calculada resultou em $5,48 \text{ e}+5$. Para a espessura de $0,023 \text{ m}$ obteve-se o resultado de $u=0,2$.

A partir desta rodada inicial foi possível reduzir a espessura visto que a energia é diretamente relacionada às tensões e por consequência, espessura. Para fins de comparação com o software ANSYS as espessuras máxima e mínima de referência foram $0,04$ e $0,01 \text{ m}$ respectivamente. Após algumas iterações o programa finalizou a otimização na espessura de $0,01 \text{ m}$, com resultado de $u=1,05$, inferior a $U_{d \text{ esco}}$. A partir destes resultados pode-se constatar que o material não falhará. Para validação do algoritmo foi testada uma espessura mínima de $0,00001 \text{ m}$, resultando-se $u=1,05 \text{ e}+06$, superior a $U_{d \text{ esco}}$, consequentemente, falha do material.

4.2 ANSYS

4.2.1 ANSYS AIM

O Ansys AIM é um dos produtos da ANSYS que tem por função facilitar o trabalho do usuário, sendo mais intuitivo, de aplicação direta e menor custo computacional. O processo é realizado pelo método DOE (Design of Experiments) e com as mesmas condições de carga e suporte fixo. Após 1000 iterações, chegou-se ao resultado ótimo: espessura de $0,01 \text{ m}$ e tensão máxima de $45,6 \text{ MPa}$.

Table of Outline A2: Design Points of Design of Experiments				
	A	B	C	D
1	Name	P1 - Modeling Import Source 1 espessura (m)	P2 - Mass 1 Value (kg)	P3 - Equivalent Stress 1 Calculated maximum (Pa)
2	1	0,025	3,6176	1,8273E+07
3	2 DP 2	0,01	1,447	4,5605E+07
4	3	0,04	5,7882	1,1453E+07
5	4	0,0175	2,5323	2,6662E+07
6	5	0,0325	4,7029	1,3716E+07

Figura 5- Pontos candidatos DOE

4.2.2 ANSYS Mechanical

O método de otimização topológica (TOM) é utilizado em diferentes áreas, sobretudo Engenharia e Design. Trata-se do procedimento numérico empregado para esculpir a distribuição mais adequada de material de uma estrutura dentro de um espaço determinado de design, submetido a um conjunto de cargas e condições de contorno. Neste caso, as restrições serão os contornos da peça, portanto, toda a estrutura intermediária será submetida à otimização preservando ao máximo o formato visando a construção. Para isso foi definida

a retirada de massa em até 80%. Após o processo, a máxima tensão obtida foi de 180,97 MPa. Mostrando assim, que a estrutura permanecerá segura, mesmo após da retirada de material.

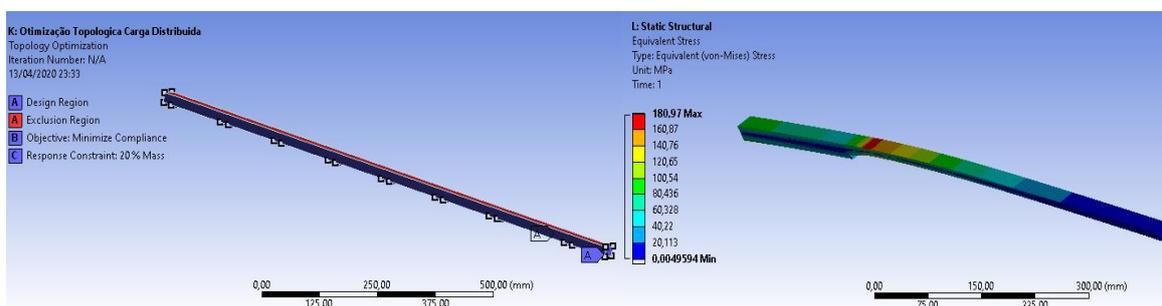


Figura 6- Condições de contorno e Tensão Von Mises após otimização topológica

Tabela 6. Resultados Otimizações

Programa	Método	Massa Final [Kg]	% redução
MATLAB	Espessura	1,44	56,36
MATLAB	Energia	1,44	56,36
ANSYS AIM	Paramétrica	1,45	56,06
ANSYS Mechanical	Topológica	1,66	49,69

5. Conclusão

O presente trabalho visava estudar e determinar computacionalmente a otimização de estruturas aeronáuticas, determinando o máximo de material a ser retirado da estrutura, com confiabilidade e segurança, além disso, tinha por objetivo analisar os diferentes métodos de otimização, o que foi realizado.

Observando os resultados, as tensões calculadas no MATLAB e ANSYS mostram-se na mesma ordem de grandeza (MPa) e após otimizações, as respostas convergiram para uma redução de espessura em 0,01 m, reduzindo à menos da metade da espessura inicial.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se explorar mais profundamente o estudo da malha no ANSYS a fim de uma convergência maior de valores além de elaboração de algoritmos mais complexos para modelagem de placa no MATLAB, bem como o estudo de outras geometrias.

Referências

- [1] R.C. Hibbeler, Resistência dos Materiais, Sétima Edição, Livros Técnicos e Científicos Pearson Editora, São Paulo, 2010.
- [2] Harpia Aerodesign, Relatório Cargas e Aeroelasticidade, 2019.
- [3] Coppermetal, Informações Técnicas Alumínio 7075-T651, São Paulo, 2009
- [4] Brasil, R.M.L.R.F. e Silva, M.A., (2018), Otimização de Projetos de Engenharia, Editora Edgard Blucher.
- [5]- TIMOSHENKO, Stephen, GERE, James. Mecânica dos Sólidos; vols. 1 e 2. LTC editora.
- [6]- Apostila de Resistência dos Materiais II, E.M Toledo, F.S Bastos, A.A Cury, UFJF, 2020.