

ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE UMA ASA VOLTADA A SAE BRASIL AERODESIGN

Felipe Araújo Bortolete, felipebortolete@gmail.com¹

Arlindo Pires Lopes, alopes@uea.edu.br¹

Adriana Alencar Santos, drica.eng@gmail.com¹

¹Universidade do Estado do Amazonas - UEA, AM, Brasil

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo mostrar o desenvolvimento de um algoritmo genético de otimização para o projeto de geometrias de asas para uma aeronave destinada a SAE Brasil Aerodesign. Primeiramente é feita uma breve explicação de como é o funcionamento do software utilizado, modeFRONTIER, para então se dar início a apresentação do algoritmo desenvolvido e os detalhes de seu funcionamento, onde também são utilizados os softwares Athena Vortex Lattice (AVL) e Matlab, na sequência são apresentados e analisados os dados obtidos pelo processo de otimização. Por fim são feitas as considerações finais sobre o trabalho realizado.

Palavras-chave: Otimização Multidisciplinar, Projeto de asas, Algoritmo Genéticos, Aerodesign.

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento de novos produtos cada vez melhores em tempos mais curtos, as necessidades de se utilizarem ferramentas de projeto onde a relação de resultados obtidos e tempo fosse cada vez maior fez com que nas últimas décadas as pesquisas relacionadas a otimização ganhassem bastante espaço.

A otimização tem por definição ser uma busca sistemática da solução ótima dentro de várias configurações possíveis, através de um algoritmo numérico de otimização Silva (2010). Essa busca sistemática é feita por um algoritmo de otimização, que pode utilizar basicamente métodos de programação matemática ou métodos probabilísticos. Dentro dos métodos probabilísticos nós temos os algoritmos genéticos, que são aqueles cujo o método de resolução é baseado nos princípios da seleção natural. A indústria da aviação vem empregando cada dia mais essa técnica no projeto de aeronaves, devido a sua capacidade de interações de diferentes áreas o que fornece uma visão mais ampla do projeto, por isso este trabalho utiliza um algoritmo genético para otimização da geometria de uma asa.

A SAE Brasil Aerodesign é uma competição de projeto aeronáutico que premia a equipe capaz de desenvolver a melhor aeronave que atenda aos requisitos estabelecidos no regulamento, para isso a cada ano as equipes implementam técnicas mais sofisticadas para atingir os melhores resultados finais. Dentre essas técnicas a otimização numérica se tornou uma das mais utilizadas tendo em vista a pequena variação no regulamento o que possibilita que anualmente sejam feitas pequenas mudanças nos algoritmos para se conseguir a adaptação ideal para o ano vigente e também a sua grande capacidade de redução do tempo de projeto, tendo em vista um calendário bem apertado, além do fato de a técnica permitir se chegar em parâmetros excelentes tornando a aeronave competitiva. Tendo isso em mente o presente trabalho apresenta a utilização dos métodos de otimização para o projeto de uma geometria de asa voltada a SAE Brasil Aerodesign.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Missão e Requisitos de projeto

A aeronave tem como missão realizar um voo com a maior quantidade de carga possível dentro de seu compartimento de carga e atingir a maior velocidade possível, tudo isso obedecendo a trajetória especificada na Fig. 1, a aeronave também deve conter um sistema embarcado de aquisição de dados capaz de informar velocidade e altitude.

Os principais requisitos da Aerodesign para a classe ADVANCED 2017 são: peso total da aeronave menor que 30 kg, poderão ser utilizados motores elétricos movidos somente por baterias de NICD, LIFE ou NiMH, o comprimento máximo de pista para a decolagem é de 60 m e um sistema embarcado capaz de medir e gravar o tempo, o WOW, a altitude e velocidade. Os motores são limitados pela seguinte formula:

$$RPM_{Max} = \frac{180000}{D_H} \quad (1)$$

Onde:

D_H -Diâmetro de hélice em polegadas (in)

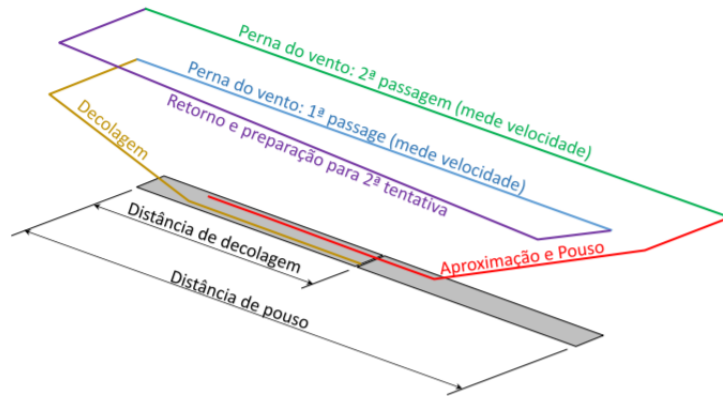


Figura 1: Trajetória padrão.

2.2 Projeto Conceitual

Após a análise dos requisitos da missão foi feito um estudo das características e pontuações dos aviões mais bem colocados na classe nos anos anteriores, com isso foi feito um estudo de como as alterações no sistema de pontuação afetariam o desempenho dessas aeronaves e através desses dados foi possível estimar as características que a aeronave deveria ter para atingir seus objetivos:

- Peso vazio da aeronave próximo de 5 kg.
- Carga útil próxima de 13kg.
- Velocidade entre 23-25 m/s.
- Sistema eletrônico de altíssima confiabilidade.
- Envergadura máxima da asa 3,5 m.

Essas definições foram usadas para gerar as restrições da otimização.

2.3 ModeFrontier

Para o desenvolvimento do algoritmo de otimização foi selecionado o software modeFRONTIER que é um software de otimização multidisciplinar multiobjetivo, integração de processos e pós-processamento que permite o fácil acoplamento com diversas ferramentas como Excel, MATLAB, entre outros. O software é voltado para encontrar a fronteira de Pareto, que representa o conjunto das melhores soluções possíveis para resolver um determinado problema.

O modeFRONTIER é software que se baseia no fluxo de trabalho criado pelo usuário para controlar os parâmetros a serem otimizados, esse fluxo é chamado de workflow. Para isso o usuário deve criar um workflow lógico que tenha dois fluxos principais que são o fluxo de dados e o fluxo de processos.

2.4 Otimização geométrica da asa

Com os dados do perfil selecionado, dados de empuxo do grupo-moto-propulsor selecionado pela equipe Urutau Aerodesign e através das restrições impostas pelo regulamento da SAE Brasil Aerodesign foi desenvolvido o algoritmo de otimização de geometria de asas, Fig.2, com o objetivo de simular diferentes geometrias afim de selecionar aquela que apresentasse os melhores resultados de performance.

Primeiramente foram definidas as restrições das variáveis de entrada, representados na Tab. 1.

Tabela 1: Variáveis de entrada e suas restrições

Variável de entrada	Limite Inferior	Limite Superior
Envergadura (m)	2	3,5
Corda na raiz (m)	0,1	0,8
Enflechamento (%)	0	1
Razão de afilamento	0	1
Porcentagem afilada (%)	0	1

O fluxograma mostra os dois principais fluxos do modelo de otimização de asas, da esquerda para a direita ocorre o fluxo de dados e de cima para baixo ocorre o fluxo de processos. O fluxo de processo se inicia com o *Desidn of Experiments*, DOE, esse bloco é responsável por gerar uma população inicial de asas, baseada nas variáveis de entrada.

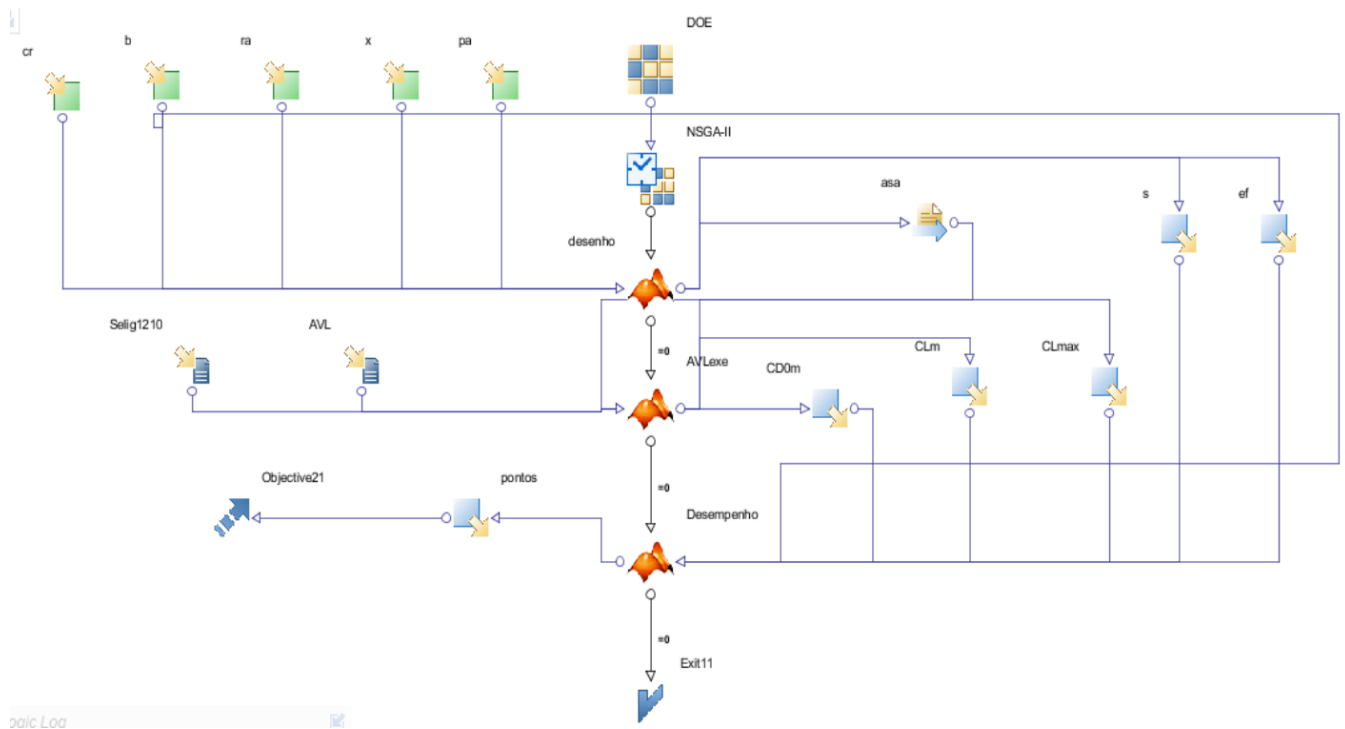


Figura 2: Workflow do algoritmo

O segundo bloco do fluxo de processo é o **NSSGA-II** que é o algoritmo genético, esse bloco é responsável por controlar todo o algoritmo de maneira inteligente, ele emprega a poluição inicial de asas um tratamento baseado na teoria da evolução, que tem como princípio a variabilidade e a continuidade dos seres mais adaptados, ou seja ele cruza as características das melhores asas a fim de se atingir uma asa ótima, cada cruzamento e chamado de interação (N) e o número de interações (I) é imputado pelo usuário.

O terceiro bloco é um algoritmo em MATLAB chamado **Desenho**, que utiliza as variáveis de entrada para realizar uma série de cálculos de todos os parâmetros necessários para a formação de uma geometria de asa completa e ao final estorna um arquivo com esses parâmetros chamado de “asa”. Uma importante característica desse módulo são suas restrições, que são voltadas a obtenção de asas não tão complexas de serem manufaturadas, o que vem a garantir que as asas geradas não terão uma complexidade construtiva alta o que possivelmente inviabilizaria sua utilização.

O quarto bloco é um outro código MATLAB chamado **AVL**, esse bloco é responsável por executar o AVL baseado nos parâmetros encontrados no arquivo “asa”, para fazer toda a análise CFD das asas. Esse será o bloco responsável por gerar todos os coeficientes aerodinâmicos relacionados a cada asa. No quarto bloco, **Desempenho**, todos esses parâmetros aerodinâmicos serão transformados em grandezas do desempenho final do avião, como por exemplo a velocidade de cruzeiro, para que possa ser estimada a pontuação de cada asa baseada nas fórmulas de pontuação da competição, esse bloco estorna o valor da pontuação estimada da asa analisada. O ultimo bloco, **Fim**, é responsável por encerrar o algoritmo depois que o mesmo tenha realizado todas as interações.

O fluxo de dados começa com os 5 blocos verdes no canto superior esquerdo, sendo esses os parâmetros de entrada responsáveis por formar a asa que será analisada, eles estão ligados a módulo de **Desenho**. Os blocos em azul são as variáveis de saída, onde temos como principal saída o bloco **pontos**, fornecida pelo bloco de **Desempenho**, essa variável está ligada a um bloco de objetivo cuja finalidade é avaliar o valor da pontuação final, a fim de direcionar a otimização para um valor de pontuação cada vez maior.

2.5 Pós-processamento

Após a execução do algoritmo mostrado no capítulo anterior, foi feita a análise de pós-processamento dos dados obtidos no próprio ambiente do modeFRONTIER, onde foi possível gerar uma série de gráficos para avaliar o comportamento de cada variável ao longo da execução. No presente caso, temos como principal informação o comportamento da pontuação estimada ao longo das interações. Ao final também foi feita uma comparação entre a asa utilizada pela equipe Urutau Aerodesign no ano de 2017, obtida através de métodos por interações mecânicas sem uma abordagem lógica, com a asa obtida através da otimização.

O algoritmo foi iniciado por uma população aleatória de 10 asas, os critérios de parada foram 5000 interações ou residual de convergência menor que 10^3 . O compilamento do algoritmo durou aproximadamente um dia onde foram analisadas cerca de 700 asas e foi parado pelo fator residual de convergência. A Figura 3 mostra a curva de convergência, a curva nos mostra como a variação do valor da pontuação ao longo das 700 interações onde é fácil que a medida que as interações ocorriam esse valor convergia para um valor cada vez maior ou seja maximizando o valor da pontuação

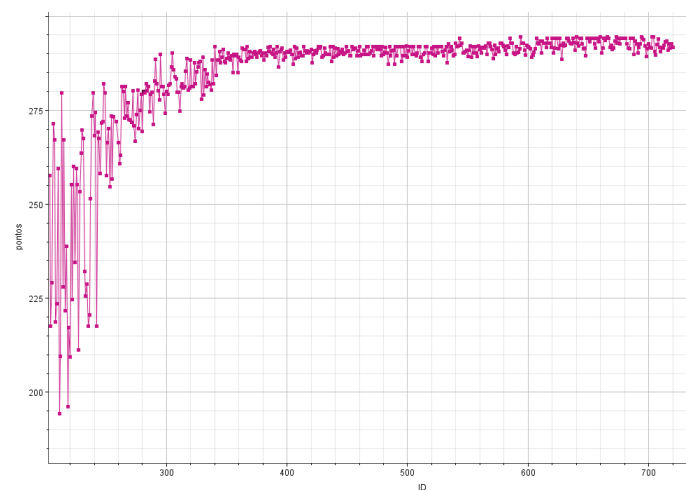


Figura 3: Gráfico da pontuação ao longo das interações.

estimada.

Os dois fatores que impulsionam o valor da pontuação são os valores do coeficiente de sustentação máximo (CL_{max}) e do coeficiente de arrasto médio (CD_{0m}), a Fig. 4 nós mostra um gráfico de dispersão da pontuação em função do CL_{max} , já a Fig. 5 nós mostra um gráfico de dispersão da pontuação em função do CD_{0m} , fazendo uma análise conjunta desses dois gráficos podemos perceber que a asa convergiu para utilização de valores médios de CL_{max} e CD_{0m} , o que é lógico pois como a fórmula da pontuação do Aerodesign é a multiplicação do valor da velocidade máxima, que é proporcional ao valor do CD_{0m} , pelo valor da carga paga, que é proporcional ao valor do CL_{max} , a utilização de dois valores médios resulta em valor de pontuação maior.

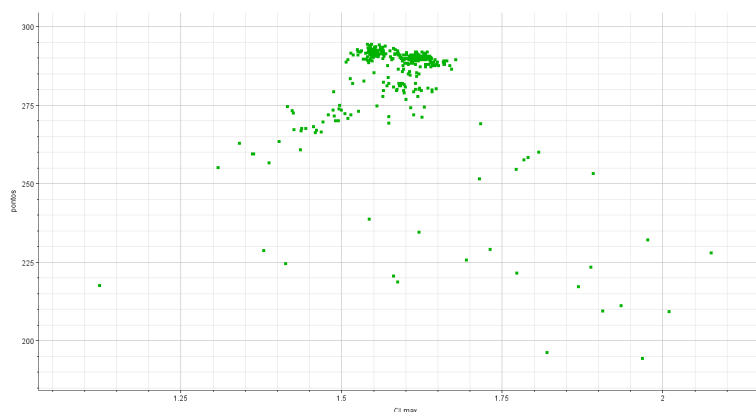


Figura 4: Gráfico de dispersão da pontuação em função do coeficiente de sustentação.

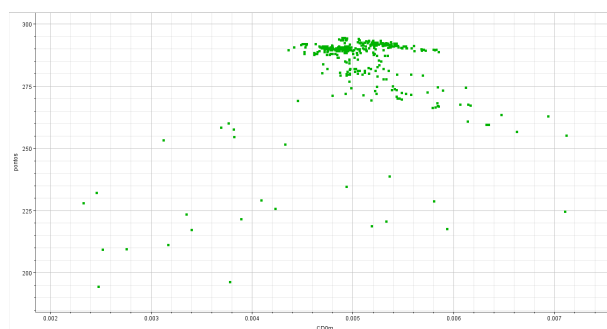


Figura 5: Gráfico de dispersão da pontuação em função do coeficiente de arrasto.

Também é possível observar nestes gráficos que apesar de termos uma área onde os indivíduos se concentraram, que foi para onde o algoritmo convergiu, temos indivíduos espalhados por todas as regiões do nosso gráfico, o que nós mostra a grande abrangência do processo no intuito de garantir que nenhuma possibilidade fosse testada, normalmente essa característica é dada por um fator de mutação que modifica as características de alguns indivíduos durante sua reprodução.

Outra importante característica de uma asa é o fator de eficiência de Oswald, que nós mostra quão eficiente é nossa geometria de asa. A Figura 6 mostra o comportamento desse fator ao longo das interações, ao fazermos a análise do gráfico é possível perceber que esse fator vai se aproximando de 1, eficiência máxima, ao longo da otimização.

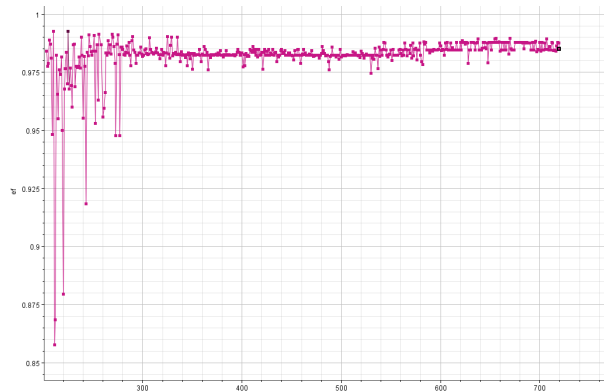


Figura 6: Gráfico do fator de eficiência de Oswald ao longo das interações.

Ao final do pós-processamento foram analisados os dados individualmente afim de selecionar a asa cujo os parâmetros de entrada forneceram a maior pontuação estimada. Para isso foi montada uma tabela com os resultados de cada interação, ordenada das interações que apresentaram a maior pontuação para menor, na Fig. 7 temos um pedaço dessa tabela onde podemos ver em azul os parâmetros da asa que apresentou a maior pontuação.

ID	isReal	isFeasi...	isValid	b	cr	pa	ra	x	CD0m	CLm	CLmax	ef	pontos	s	Objecti...
257	✓ Yes	✓ Yes	✗ No	3.15	0.71	0.01	0.31	0.81	□	□	□	□	□	□	□
259	✓ Yes	✓ Yes	✗ No	3.05	0.71	0.01	0.51	0.41	□	□	□	□	□	□	□
721	✓ Yes	✓ Yes	✗ No	3.55	0.81	0.61	0.51	0.91	□	□	□	□	□	□	□
594	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.91	4.9200E-3	2.8145E-1	1.5465E0	9.8467E-1	2.9446E2	2.3383E0	2.9446E2
640	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.91	4.9200E-3	2.8145E-1	1.5465E0	9.8467E-1	2.9446E2	2.3384E0	2.9446E2
660	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.91	4.8980E-3	2.8025E-1	1.5399E0	9.8421E-1	2.9446E2	2.3455E0	2.9446E2
666	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.91	4.9200E-3	2.8145E-1	1.5465E0	9.8467E-1	2.9446E2	2.3384E0	2.9446E2
673	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.91	4.9200E-3	2.8145E-1	1.5465E0	9.8469E-1	2.9446E2	2.3359E0	2.9446E2
694	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.91	4.9200E-3	2.8145E-1	1.5465E0	9.8467E-1	2.9446E2	2.3382E0	2.9446E2
703	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.91	4.9200E-3	2.8145E-1	1.5465E0	9.8469E-1	2.9446E2	2.3358E0	2.9446E2
704	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.91	4.9200E-3	2.8145E-1	1.5465E0	9.8467E-1	2.9446E2	2.3384E0	2.9446E2
543	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8775E-1	2.9415E2	2.2975E0	2.9415E2
585	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8775E-1	2.9415E2	2.2975E0	2.9415E2
607	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8776E-1	2.9415E2	2.2969E0	2.9415E2
616	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8775E-1	2.9415E2	2.2984E0	2.9415E2
620	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8775E-1	2.9415E2	2.2974E0	2.9415E2
623	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8775E-1	2.9415E2	2.2953E0	2.9415E2
624	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8775E-1	2.9415E2	2.2974E0	2.9415E2
626	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8775E-1	2.9415E2	2.2984E0	2.9415E2
632	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8775E-1	2.9415E2	2.2986E0	2.9415E2
633	✓ Yes	✓ Yes	✓ Yes	3.55	0.81	0.71	0.51	0.81	4.9440E-3	2.8159E-1	1.5585E0	9.8776E-1	2.9415E2	2.2968E0	2.9415E2

Figura 7: Tabela com informações sobre as interações.

2.6 Configuração final da asa

Com as características de entrada foi possível então definir todas as características finais da asa ótima. A Tabela 2 nós mostra as características finais da asa otimizada.

Tabela 2: Característica finais da asa otimizada

Perfil	Selig 1210
Geometria	Semi-trapezoidal
Envergadura	3,55 m
Corda na raiz	0,81 m
Corda na ponta	0,4 m
Área	2,556 m ²
Razão de afilamento	0,51
Razão de aspecto	4,93
Enflechamento (%)	0,36 m

A asa foi então desenhada afim se poder ter uma melhor visualização, as Fig. 8 e 9 são imagens da forma da asa gerada.

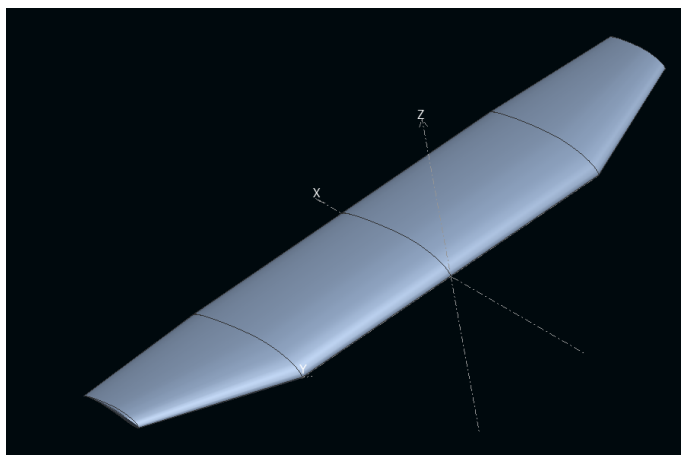


Figura 8: Imagem da asa otimizada.

2.7 Comparação de asas

Em 2017 o método utilizado pela equipe Urutau Aerodesign para o projeto da geometria de asa foi um método de interações mecânicas, ou seja o projetista entrava no software de CFD, desenhava a asa que vinha em sua mente baseada em experiência de asas anteriores ou apenas na tentativa de testar algo novo e então simulava a mesma. Os resultados obtidos no software CFD eram então colocados em uma tabela, que também foi desenvolvida pelo projetista onde cada coeficiente aerodinâmico tinha um peso e ao final essa tabela daria uma nota para a asa, e com isso era possível ranquear as asas com maior nota para ao final selecionar a melhor. Ao final de 130 interações a equipe chegou em uma asa com as características mostradas na Tab. 3 e a Fig. 10 mostra um desenho da asa.

Tabela 3: Característica finais da asa utilizada pela equipe Urutau em 2017.

Perfil	Selig 1210
Geometria	Semi-trapezoidal
Envergadura	3,5 m
Corda na raiz	0,4 m
Corda na ponta	0,2 m
Área	1,25 m ²
Razão de afilamento	0,5
Razão de aspecto	9,8
Enflechamento (%)	0,2 m

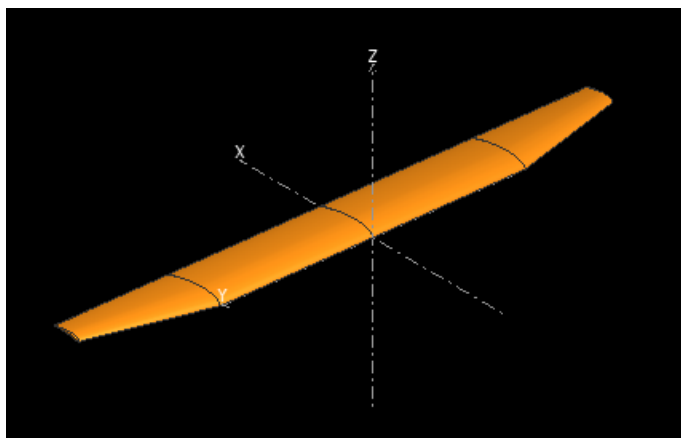


Figura 9: Imagem da asa otimizada utilizada pela equipe Urutau em 2017.

Com a intenção de comprovar o melhor desempenho da asa otimizada, a asa 2017 foi simulada sobre as mesmas condições da asa otimizada afim de se obter seus parâmetros de performance, com esses valores em mãos foi montada a Tab. 4, que mostra a comparação entre as duas asas.

Tabela 4: Comparação entre asa.

	Asa 2017	Asa otimizada
Velocidade Máxima (m/s)	38	34,3
Carga máxima (Kg)	16,8	21,45
Pontuação estimada	255	294
Tempo de projeto (dias)	14	1

Como podemos perceber o valor da pontuação estimada para a asa otimizada é aproximadamente 40 pontos maior que o valor da asa 2017, pois apesar de termos uma queda na velocidade máxima a mesma foi compensada por um aumento significativo no valor da carga máxima. Através dessa análise fica claro perceber que a utilização de um algoritmo genético é mais eficiente para o projeto de geometria de asa pois foi possível alcançar resultados melhores em um tempo menor.

Outro ponto importante foi a resolução dos problemas da metodologia atual, pois como as interações foram automatizadas minimizando o trabalho mecânico e o tempo de projeto e maximizando os resultados. Por se empregada uma técnica de algoritmo genético os problemas na geração de novos indivíduos foram sanados pois essa técnica emprega uma excelente metodologia para formação de novos indivíduos. A outra grande vantagem foi a utilização de um código MATLAB capaz de estimar parâmetros de performance da aeronave o que veio a garantir uma visão mais clara da influencia de cada parâmetro de entrada na performance final da aeronave.

3. CONCLUSÃO

O propósito deste trabalho foi desenvolver um algoritmo de otimização aerodinâmica de geometria de asas voltadas a SAE Brasil Aerodesign utilizando o software modeFRONTIER, tendo em vista o aumento na eficiência do projeto de asas, para isso realizou-se estudos nas áreas das ciências aeronáuticas e estudos de otimização aplicada na engenharia. Um dos objetivos do trabalho é de era fornecer uma metodologia para aplicação da otimização nas demais áreas do projeto aeronáutico assim como desenvolver um algoritmo que pudesse ser adaptado para outras restrições. Tendo esses objetivos em mente é possível perceber o grau de complexidade deste trabalho, pois além dos conhecimentos de otimização e aeronáuticos, também se fizeram necessários conhecimentos de programação.

O algoritmo desenvolvido utiliza o software modeFRONTIER para comandar o rotina de otimização, que é composta também por três scripts MATLAB, sendo um deles responsável por automatizar a interface com o software Athena Vortex Lattice (CFD), também é utilizado um algoritmo genético para controlar a otimização e um algoritmo DOE para gerar a população inicial.

Através da análise dos dados gerados pelo algoritmo é possível perceber a evolução das geometrias de asas geradas ao longo das interações, a análise de outros dados gerados nós permiti concluir o perfeito funcionamento do algoritmo. Ao final são feitas análises sobre o produto do algoritmo, ou seja a asa gerada, onde através de comparações com a asa utilizada pela equipe Urutau Aerodesing no ano de 2017, onde nesta foi empregada uma diferente metodologia de projeto, pode-se perceber uma evolução significativa na performance final estimada para a aeronave, assim como a melhora na metodologia de projeto pois a utilização de um algoritmo de otimização permitiu a minimização do tempo de projeto e maximização dos resultados

4. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado por todos os membros da equipe Urutau Aerodesign.

5. REFERÊNCIAS

- Andersson, J.D., 1999. *Aircraft Performance and Design*. McGraw-Hill.
- Andersson, J.D., 2015. *Fundamentos da engenharia Aeronáutica*. Porto Alegre.
- Gudmundsson, S., 2014. *General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures*. Elsevier.
- Raymer, D.P., 1989. *Aircraft Design: a conceptual approach*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. Washington, D. C.I.
- Silva, E.C.N., 2010. *Otimização aplicada ao projeto de sistemas mecânicos*. USP, São Paulo, Brazil. 150 p.

6. RESPONSABILIDADE AUTORMAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

OPTIMIZATION GEOMETRIC ALGORITHM FOR AN AIRCRAFT WING

Felipe Araújo Bortolete, felipebortolete@gmail.com¹

Arlindo Pires Lopes, alopes@uea.edu.br¹

Adriana Alencar Santos, drica.eng@gmail.com¹

¹Amazonas State University - UEA, AM, Brazil

Abstract: *This study has the objective of developing a genetic optimization algorithm for wing geometry design for an aircraft destined to SAE Brazil Aerodesign. The software modeFRONTIER was used to perform the presentation of the developed algorithm, and also the software Athena Vortex Lattice (AVL) and Matlab were used, in the sessions are displayed and the bases are protected by the optimization process. The finals are made like the ones that are best done about the work done.*

Key-words: *Multidisciplinary Optimization, Wings design, Genetic Algorithm, Aerodesign.*