

ANÁLISE NUMÉRICA DE PERFIS AERODINÂMICOS PARA PLANADORES

Rodrigo Ferreira de Sousa, Heidi Korzenowski

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, rodrigo-sousa14@live.com, heidi@univap.br

Resumo

Com o grande avanço da tecnologia da aviação de modo geral, os planadores desempenham um papel extremamente importante tanto na aviação civil quanto na aviação militar. Este trabalho visa entender o comportamento de perfis inseridos em um campo de escoamento e analisar os resultados para posterior comparação, a fim de definir qual deles se faz mais vantajoso para um planador. O presente trabalho considerou especificações de planadores que se enquadram na categoria de operação aerodesportiva. A simulação numérica foi realizada no ANSYS Fluent versão acadêmica, considerando modelamento bidimensional e utilizando modelo de turbulência $k - \omega SST$.

Palavras-chave: Planadores. Simulação Numérica. Escoamento turbulento.

Área do Conhecimento: Engenharia Aeroespacial.

Introdução

Planadores são aeronaves desprovidas de motor, que se alimentam de correntes térmicas para ganhar altura e através da troca de altitude por velocidade e são capazes de navegar grandes distâncias apenas fazendo uso de forças atmosféricas. (Neto et.al., 2019). Esse tipo de aeronave atrai bastantes entusiastas devido a seu baixo custo comparado com a aviação motorizada.

Os planadores possuem uma estrutura leve, muitas vezes feita de materiais como fibra de vidro, carbono e madeira. Isso os torna extremamente leves e aerodinâmicos, permitindo que deslizem facilmente pelo ar. As asas dos planadores são geralmente longas e finas, projetadas para proporcionar maior sustentação com o mínimo de arrasto possível para que permaneça no ar por mais tempo, porém, alguns planadores contam com motores para auxiliar no ganho de altitude ou para alguma emergência, mas, geralmente são rebocados por outra aeronave ou até mesmo lançados de colinas para ganho de altitude. (Thomas, 1990)

Com o grande avanço da tecnologia da aviação de modo geral os planadores desempenhavam um papel extremamente importante tanto na aviação civil como na aviação militar. Segundo Bastos, E.C.S. (2023), alguns planadores foram projetados para o transporte de tropas e suprimentos durante a Segunda Guerra Mundial. Desde então algumas dessas aeronaves são equipadas com instrumentos que ajudam na captação de dados para pesquisas nas áreas da aviação e meteorologia, e há alguns anos tem tido uma crescente popularidade para a recreação, competições esportivas e treinamento de pilotos.

Este trabalho visa estudar e entender o comportamento de perfis inseridos em um campo de escoamento, e analisar os resultados para posterior comparação. Pretende-se definir qual deles se faz mais vantajoso para um planador.

Vale ressaltar que para o presente trabalho foram consideradas especificações de planadores que se enquadram na categoria de operação aerodesportiva em aeronaves sem certificado de aeronavegabilidade conforme RBAC nº103 emenda nº00 ANAC. Este regulamento se aplica para aeronaves apenas em operação desportiva, que possua peso vazio de no máximo 80 kg e que sua VNE (velocidade nunca exceder) seja de 100 knots.

Para este trabalho foi utilizado o módulo Fluent do software ANSYS, que é um software de volumes finitos, na sua versão para estudante. Considerou-se um modelamento bidimensional, em um escoamento incompressível turbulento, e utilizando modelo de turbulência $k - \omega SST$. (Costa, I.B., 2016). Foram selecionados dois perfis aerodinâmicos sendo eles Eppler 397 e Wortmann FX 60-126.

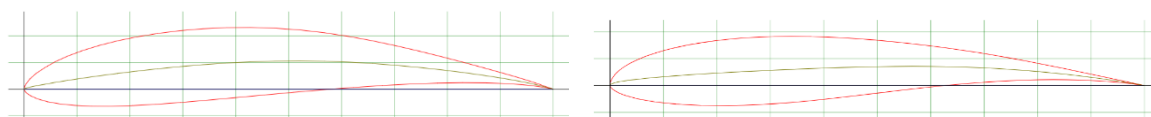
Metodologia

Dinâmica dos fluidos computacionais (CFD) é uma técnica de simulação computacional amplamente utilizada para analisar e prever o comportamento de fluidos em relação ao movimento e à interação com objetos sólidos. A simulação CFD envolve o uso das leis fundamentais da mecânica que regem as equações da dinâmica dos fluidos para formular matematicamente um problema físico. Uma vez modelado o problema, são utilizados métodos numéricos para resolver as equações com o objetivo de obter soluções aproximadas para as propriedades físicas envolvidas. As simulações de CFD são baseadas nas equações de Navier-Stokes usadas para descrever a pressão, velocidade e densidade de um fluido em movimento. (Rodrigues, L.E.M., 2016)

A primeira etapa da simulação numérica consiste na elaboração de uma malha computacional suficientemente refinada. Neste trabalho será utilizada uma malha computacional estruturada com elementos tetraédricos.

Foram selecionados dois perfis aerodinâmicos: Eppler 397 e Wortmann FX 60-126. A escolha foi realizada a partir das análises apresentadas por Neto (2019). Na Figura 1 apresenta-se os perfis escolhidos, gerado pela ferramenta Airfoil Plotter.

Figura 1 – Perfil Eppler 397 e Perfil Wortmann FX 60-126.

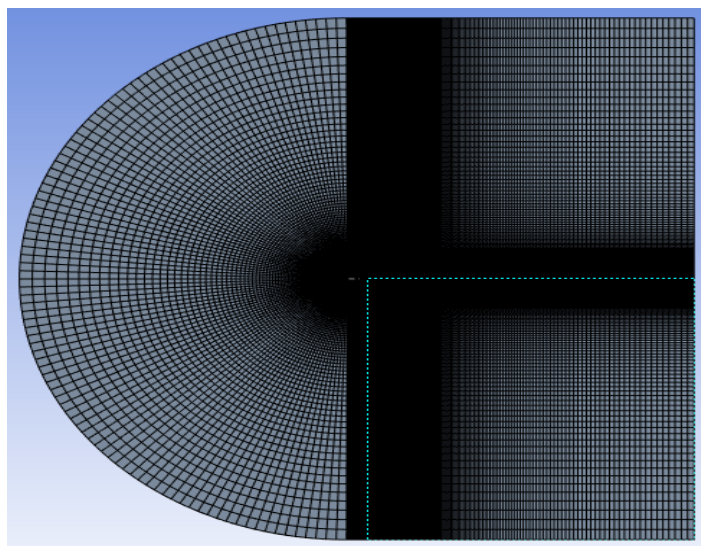


Fonte: Os autores.

Resultados e Discussão

As malhas sobre os perfis escolhidos foram geradas com 500.000 células tendo em vista um refinamento melhor nas regiões mais próximas do perfil. Para a captura correta da camada limite, a altura da primeira célula ficou com $7,266 \times 10^{-6}m$. Na Figura 2 apresenta-se a malha computacional gerada sobre o perfil.

Figura 2 – Malha computacional sobre o perfil.



Fonte: Os autores.

As condições iniciais para a simulação estão apresentadas na Tabela 1, sendo que as propriedades foram retiradas do trabalho de Thomas (1990).

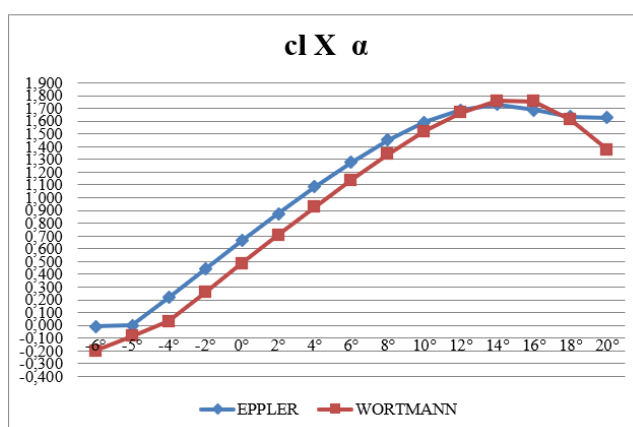
Tabela 1 – Condições iniciais com dados obtidos da tabela ICAO Standard Atmosphere.

Velocidade	$51,5 \frac{m}{s}$ (100 knots)
Mach	0.15
Reynolds	3.527.397
Viscosidade dinâmica	$1,7885 \times 10^{-5} \frac{kg}{ms}$
Viscosidade cinemática	$1,46 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$
Densidade do ar	$1,225 \frac{kg}{m^3}$

Fonte: Thomas (1990)

Na Figura 3 é possível observar o gráfico que relaciona o coeficiente de sustentação (cl) com o ângulo de ataque (α). Como os perfis não são simétricos, o coeficiente de sustentação é zero quando o ângulo de ataque é negativo. Para o perfil Eppler397 o ângulo que apresenta um cl nulo é de aproximadamente -5° , enquanto para o perfil Wortmann FX 60-126 o cl nulo aparece quando o ângulo de ataque está com aproximadamente $-4,3^\circ$. Assim que o ângulo de ataque aumenta, é possível analisar que o perfil Eppler397 leva uma vantagem devido seus valores de coeficiente de sustentação serem um pouco maiores, porém, a partir de 12° o perfil FX 60-126 apresenta uma melhor eficiência chegando ao seu $cl_{max} = 1,75$ com 16° . Para o perfil Eppler397 o coeficiente de sustentação máximo (cl_{max}) vale 1,73, atingido quando o ângulo de ataque está em 14° . Apesar do perfil FX 60-126 apresentar um estol com um ângulo maior, ou seja, mais tardio, o perfil Eppler397, apresentou melhores números sendo possível observar que a queda do cl não foi tão brusca quando comparado ao outro perfil.

Figura 3 – Resultados de $cl \times \alpha$.



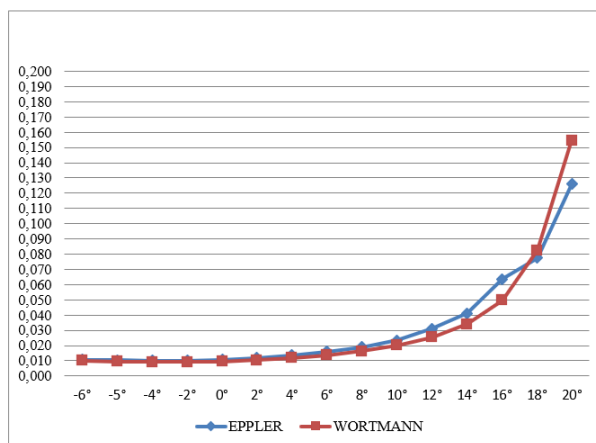
Fonte: Os autores.

A Figura 4 mostra a relação do coeficiente de arrasto (cd) com o ângulo de ataque (α). Observa-se que o arrasto tende a aumentar juntamente com o aumento do ângulo de ataque, e a partir do ponto em que a asa perde a sustentação, esse arrasto aumenta consideravelmente.

Como foi observado na Figura 3, a queda do cl para o perfil FX 60-126 é rápida e brusca, o mesmo comportamento pode ser observado na Figura 4, onde os valores de cd tem um aumento bem rápido. Com o perfil Eppler397, contudo, os valores obtidos do coeficiente de arrasto foram menores para essa fase posterior ao estol. Pode se observar também que a partir de 4° , perfil Eppler 397 passou a ter um valor maior comparado com o FX 60-126 e prevaleceu essa diferença até por volta de 17° , onde o perfil de Wortmann teve uma disparada. Apesar do Eppler397 apresentar maiores valores, a diferença não

foi tão grande e os dados obtidos após o estol mostraram que o perfil FX 60-126 tem uma variação bem maior de cd .

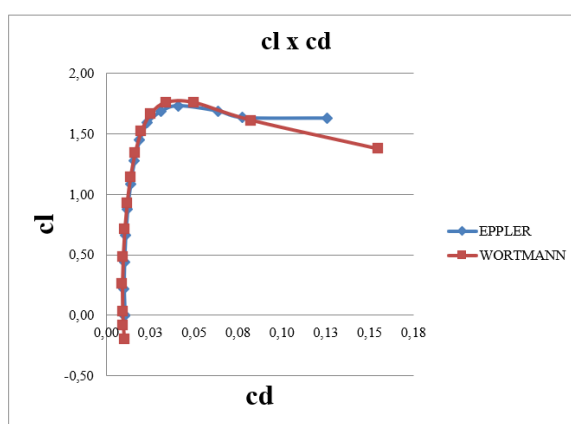
Figura 4 – Resultados de cd x α .



Fonte: Os autores.

Os resultados apresentados na Figura 5 corroboram com a hipótese de que após a ocorrência do estol, o cd tem um acréscimo significativo e de forma rápida, podendo identificar que, antes do cl_{max} o cd tem um crescimento de forma mais lenta e com valores baixos. O comportamento de ambos os perfis se mostraram parecidos até atingirem o cl_{max} . Após o estol, o perfil FX 60-126 demonstrou ter um aumento de cd , e conseqüentemente uma queda do cl , muito maior quando comparado com o comportamento do perfil Eppler397.

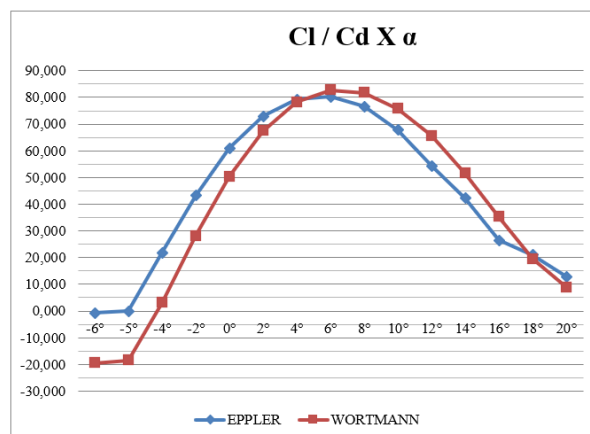
Figura 5 – Gráfico apresentando cl em função de cd



Fonte: Os autores.

Na Figura 6 é possível observar o quociente entre a razão de cl e cd . Esse gráfico é de extrema importância, pois ele demonstra a eficiência de um perfil aerodinâmico. Geralmente esse tipo de gráfico tem início com uma inclinação positiva, pois a sustentação é muito maior em relação ao arrasto, e atinge um ponto máximo onde se tem a melhor eficiência do perfil. Após atingir esse ponto máximo, é possível ver uma queda devido ao arrasto começar a aumentar junto com o aumento do ângulo de ataque. O gráfico sugere que, para os dois perfis, a melhor eficiência do perfil é atingida quando o ângulo de ataque é igual a 6°, pois é o momento em que o perfil gera a maior sustentação possível sem que haja muita interferência do arrasto. O perfil Eppler397 tem uma melhor eficiência para ângulos de ataque menores enquanto o FX 60-126 apresenta números melhores para ângulos de ataque maiores, porém, novamente pode ser destacado que após sofrer o estol, o perfil de Wortmann tem uma queda no desempenho considerável.

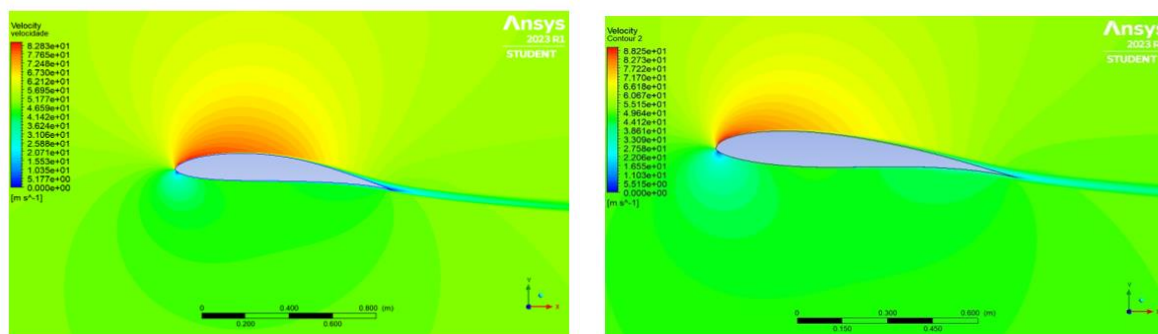
Figura 6 – Razão entre c_l e c_d .



Fonte: Os autores.

Na Figura 7 é possível observar o campo de escoamento de velocidade para o ângulo de ataque em 6° , onde se tem a melhor eficiência do perfil na razão entre o c_l e c_d . O perfil Eppler397 apresentou uma pequena área de baixa velocidade na saída do perfil o que pode indicar o ponto de transição da camada limite laminar para a camada limite turbulenta.

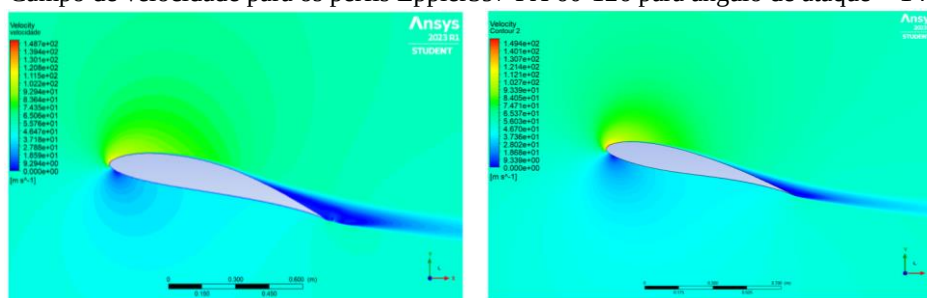
Figura 7 – Campo de escoamento sobre os perfis Eppler397 e FX 60-126 para ângulo de ataque = 6° .



Fonte: Os autores.

O perfil Eppler397 mostrado à esquerda da Figura 8 apresenta um ângulo de ataque de 14° em que ele gera um $c_l = 1,73$. É possível ver que a camada limite turbulenta já é bem maior e o descolamento está mais próximo ao bordo de ataque. Vale ressaltar também o aparecimento de vórtices no bordo de fuga do perfil e a formação de uma esteira viscosa de maior comprimento.

Figura 8 – Campo de velocidade para os perfis Eppler397 FX 60-126 para ângulo de ataque = 14° .



Fonte: Os autores.

O perfil Wortmann FX 60-126 com o ângulo de ataque de 14° gerando um $cl = 1,74$, apresentado à direita da Figura 8. Assim como o Eppler397, o escoamento no bordo de fuga já apresenta vórtices. Analisando as Figuras 7 e 8, chama à atenção no perfil Eppler397, o descolamento da camada limite mais prematuro, ou seja, mais próximo ao bordo de ataque e com a camada limite turbulenta bem maior em relação ao perfil FX 60-126.

Conclusão

O presente trabalho apresentou uma comparação entre os perfis Eppler 397 e Wortmann FX 60-126 através da simulação numérica. Como os planadores não possuem propulsão mecânica, eles dependem que suas asas gerem a máxima sustentação com o menor arrasto possível para se manter em voo. Analisando os resultados dos dois perfis pode-se dizer que ambos possuem características e resultados que seriam possíveis de serem implementados em um planador, pois conseguem manter uma boa sustentação. Apesar dos dois perfis apresentarem bons resultados, o perfil que demonstrou maior vantagem para esse trabalho é o perfil Eppler 397. Os números mostram que o perfil Eppler 397 leva uma vantagem principalmente no coeficiente de sustentação, já que para o coeficiente de arrasto dos dois perfis se mantém com resultados bem próximos. Outro ponto que chamou a atenção e pode ser observado em quase todos os gráficos, é de que o Eppler não tem uma queda brusca do quando entra no estol. Uma desvantagem encontrada nesse perfil é de que os vórtices começam a aparecer com um ângulo de ataque menor em relação ao perfil Wortmann FX 60-126, o que mostra que o descolamento da camada limite ocorre antes. O ângulo de ataque em que o perfil tem a sua melhor eficiência é por volta de 6° .

Referências

BASTOS, E. C. S. **Evolução dos Planadores para fins Militares**. Disponível em: https://www.aeroclubebebedouro.com.br/arquivos/planadores_militares.pdf > Acesso em 16 out.2023.

COSTA, I. B.; **Avaliação de Desempenho do Modelo de Turbulência $k - \omega$ SST para Dispersão de Poluentes ao Redor de Obstáculo Cúbico em Diferentes Condições de Estabilidade Atmosférica**. Dissertação (Mestrado - Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. p.95 .2016.

NETO, O. P. et al. **Projeto Preliminar de Planador Ultraleve**. In: Anais do 2º Congresso Aeroespacial Brasileiro. Universidade Federal de Santa Maria, 2019. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/2cab2019/224832-PROJETO-PRELIMINAR-DE-PLANADOR-ULTRALEVE>.

THOMAS, F; MILGRAN, J.; **Fundamentals of sailplane design**, volume 3. College Park Press Maryland, 1990.

RODRIGUES, L.E. M. J. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica**. Ed.1. São Paulo: Cengage learning, 2016.