

Características do estol nas asas das aeronaves.

Fabio Augusto Alvarez Biasi
 Aluno de gestão da Produção Industrial.
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 oibaf_biasi@hotmail.com

Resumo

O presente artigo será uma breve explanação sobre estol em aeronaves, abordando desde os conceitos básicos informativos do que é o estol, velocidade de estol nas aeronaves, propagação do estol em perfis de asas diferentes, possíveis meios de evitar ou diminuir o estol na asa com o auxílio de implementos, e curiosidades como por exemplo a maneira de lidar com um avião quando em situação estol em ângulo crítico, com sua recuperação de vôo.

Palavras-chave

Estol, perda de sustentação, C_{Lmax} .

1 – Introdução - O que é o estol

O estol em uma aeronave é conhecido também como perda de sustentação, e está diretamente ligado ao ângulo de ataque máximo e ao coeficiente de sustentação máximo da asa (C_{Lmax}). Como se pode observar na curva característica C_L versus α , o aumento do ângulo de ataque proporciona um aumento do coeficiente de sustentação, porém esse aumento de C_L não ocorre indefinidamente, ou seja, existe um limite máximo para o valor do coeficiente de sustentação de uma asa.

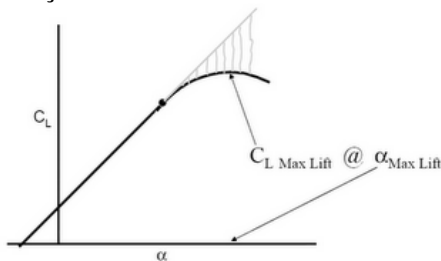


Figura 1 – Variação do coeficiente de sustentação em função do ângulo de ataque. O gráfico da Figura 1 mostra a curva C_L versus α , onde no ponto de sustentação

máxima ocorre o estol, que também é conhecido como ângulo de sustentação máxima ou ângulo de perda.

Atingido este limite, ocorre o descolamento do fluxo de ar da parte superior da asa, gerado pelo gradiente adverso de pressão. Conforme o ângulo de ataque aumenta, o gradiente de pressão adverso também aumenta, e para um determinado valor de α , ocorre a separação do escoamento no extradorso da asa de maneira repentina.

Quando o descolamento ocorre, o coeficiente de sustentação decresce drasticamente e o coeficiente de arrasto aumenta rapidamente.

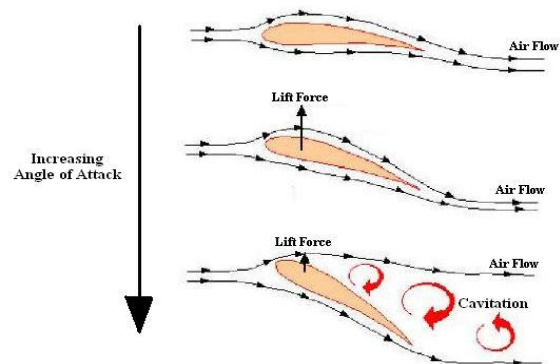


Figura 2 – Influência do aumento do ângulo de ataque no escoamento.

A Figura 2 mostra um perfil de asa exemplificando os ângulos de ataque e o fluxo de ar que passa por ela. Na 1ª e 2ª imagens o ar passa colado ao perfil com escoamento aerodinâmico e gerando sustentação, já na 3ª imagem o ar se desprende do extradorso da asa, ocorrendo o estol (ângulo acima do C_{Lmax}).

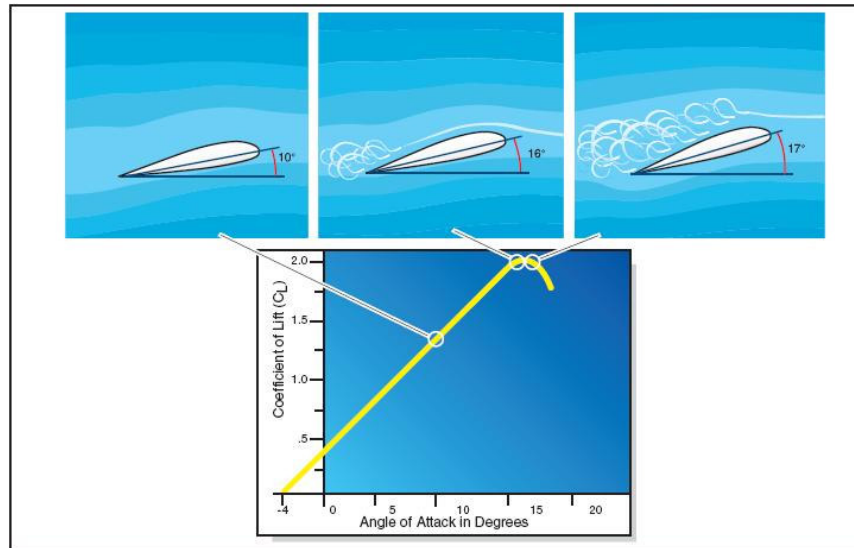


Figura 3 – Efeito do aumento do ângulo de ataque.

Uma aeronave em situação de estol não está voando, mas sim caindo, com o ar deixando de passar por cima do extradorso da asa gera-se uma depressão no vetor de sustentação, e assim a perda de altitude e velocidade; a Figura 3 exemplifica bem 3 pontos de CL no gráfico e os perfis com o escoamento correspondente (na primeira angulo de ataque normal, na segunda um principio de estol no final do escoamento e por fim na terceira uma asa com o angulo critico em estol).

2 – Velocidade de Estol.

Velocidade de estol é a mínima velocidade com a qual é possível se manter o vôo reto e nivelado da aeronave, ou seja, a mínima velocidade em que a asa pode produzir sustentação suficiente para suportar a aeronave.

Essa velocidade pode ser calculada a partir da equação fundamental da sustentação e escrita da seguinte forma.

$$v_{estol} = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot S \cdot C_{Lmáx}}} \quad (1)$$

A partir da aplicação da Equação 1 pode se obter boas qualidades de desempenho de uma aeronave, é desejável

que se obtenha o menor valor possível para a velocidade de estol, pois dessa forma, o avião conseguirá se sustentar no ar com uma velocidade baixa, além de necessitar de um menor comprimento de pista tanto para decolar como para pousar.

Analisando as variáveis presentes na equação, nota-se que o aumento do peso e a densidade do ar contribuem de maneira negativa para a redução da velocidade de estol. Algo difícil de se lidar no AeroDesign pois o aumento do peso é um ponto fundamental para a equipe, uma vez que a carga útil carregada representa a conquista de muitos pontos. Com relação a densidade do ar, quanto maior a altitude, menor ela fica e a minimização da velocidade de estol passa a ser dependente somente dos aumentos da área da asa e do coeficiente de sustentação máximo.

O aumento da área da asa de forma excessiva pode piorar em muito o desempenho da aeronave, pois da mesma forma que aumenta o valor da força de sustentação gerada, também proporciona um aumento na força de arrasto, portanto, conclui-se que o parâmetro mais eficiente para se reduzir à velocidade de estol é utilizar um valor de $C_{Lmáx}$ tão grande quanto possível, e isso recai na escolha adequada do perfil aerodinâmico da asa.

Velocidade de estol em curva acontece quando a aeronave inicia uma curva nivelada, e a sustentação deve aumentar para compensar a perda resultante da inclinação do vetor de sustentação, como mostra a Figura 4.

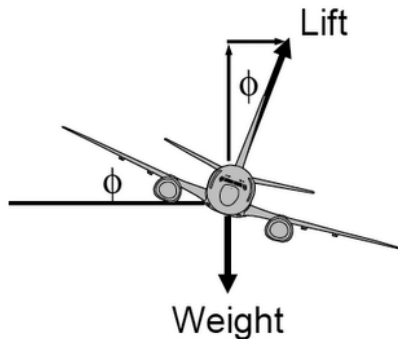


Figura 4 – Estol em curvas.

Para aumentar a sustentação mantendo-se a velocidade constante é necessário aumentar o C_L , aumentando-se o ângulo de ataque. Numa situação de ângulo crítico, a sustentação total não será suficiente para manter o vôo nivelado, sendo necessário aumentar a velocidade. Dessa forma, a velocidade de estol em curvas é maior do que em vôo horizontal.

3 – Propagação do estol em asas

A forma de propagação do estol na envergadura de uma asa varia conforme o modelo, e é um fator importante para se observar e assim determinar a localização das superfícies de controle (ailerons) e dispositivos hiper-sustentadores (flapes).

Na asa trapezoidal, o ponto do primeiro estol ocorre em uma região localizada entre o centro e a ponta da asa, e sua propagação ocorre no sentido da ponta da asa. Esta situação é muito indesejada, pois uma perda de sustentação nesta região é extremamente prejudicial para a capacidade de rolamento da aeronave uma vez que os ailerons geralmente se encontram localizados na ponta da asa.

Essa situação é péssima em baixas alturas de vôo, pois uma ocorrência de estol

com perda de comando dos ailerons na proximidade do solo praticamente inviabiliza a recuperação do vôo estável da aeronave podendo causar um acidente.

Na asa com forma geométrica retangular, a região do primeiro estol ocorre bem próximo à raiz da asa, e, dessa forma, a região mais próxima da ponta continua em uma situação livre do estol, permitindo a recuperação do vôo da aeronave fazendo-se uso dos ailerons que se encontram em uma situação de operação normal. Isto também ocorre nas asas com forma geométrica elíptica, pois também ocorre uma propagação da região de estol da raiz para a ponta da asa.

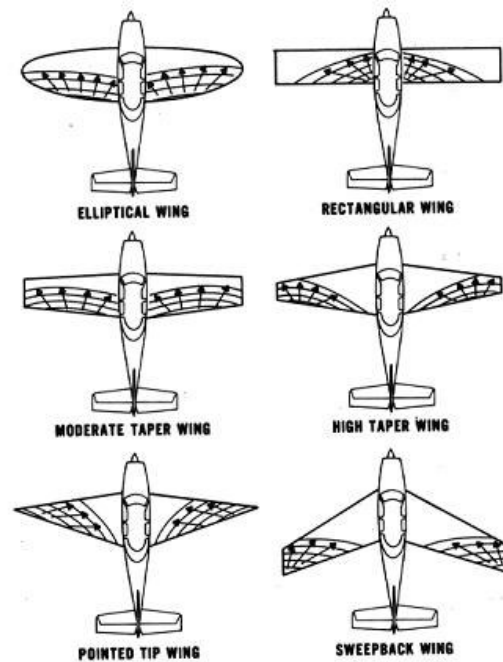


Figure 17-13 Wing Planforms (Exaggerated)

Figura 5 - Propagação de estol.

4 – Solução para evitar o estol nas aeronaves.

Uma das soluções que pode ser implementada é o uso da torção geométrica na asa. Normalmente as aeronaves possuem asas afiladas, aplicando-se a torção geométrica, as seções mais próximas à ponta da asa ficam com um ângulo de incidência menor quando comparadas às seções mais

internas evitando um estol nas pontas das asas mantendo o comando dos ailerons viável.



Figura 6 – Exemplo de torção geométrica.

A Figura 6 mostra a torção que pode ser aplicada na construção da asa como citado anteriormente. A torção geométrica é conhecida na nomenclatura aeronáutica por “washout”.

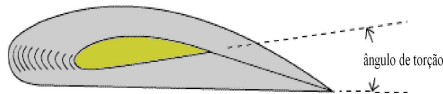


Figura 7 - Exemplo de torção geométrica em asas (visão lateral do perfil).

Outro fator que pode ser utilizado para evitar o estol são os flapes dispositivos hiper-sustentadores que consistem de abas ou superfícies articuladas existentes nos bordos de fuga das asas de um avião que quando estendidos aumentam a sustentação e o arrasto de uma asa pela mudança da curvatura do seu perfil e do aumento de sua área. Ou seja, uma forma de aumentar o C_L sem mudar o ângulo de ataque, e longe de “estolar” ou atingir o ponto crítico de sustentação.

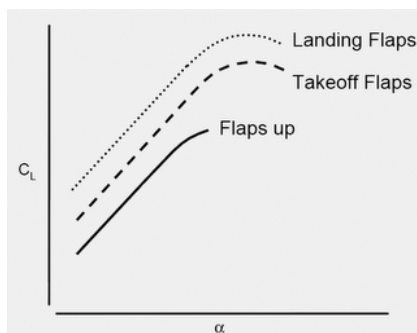


Figura 8 - Uso de flapes na asa.

Basicamente os flapes podem ser utilizados em uma aeronave como forma de

se obter os maiores valores de $C_{Lmáx}$ durante os procedimentos de pouso e decolagem sem penalizar o desempenho de cruzeiro da aeronave. Os flapes podem ser definidos como artifícios mecânicos que alteram temporariamente a geometria do perfil e conseqüentemente da asa.

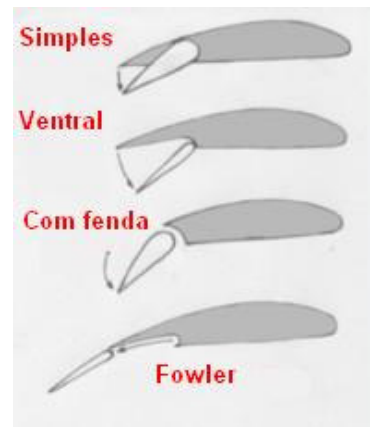


Figura – 9 Alguns tipos de flapes mais usados.

Durante a aproximação para o pouso, o flape em deflexão máxima, permite que a aeronave reduza a sua velocidade de aproximação, evitando o estol e assim a aeronave pode tocar o solo na velocidade mais baixa possível para se obter o melhor desempenho de frenagem no solo e reduzindo consideravelmente o comprimento de pista para pouso. Já na decolagem, em ajuste adequado para produzir a melhor combinação de sustentação (máxima) e arrasto (mínimo), permitindo que a aeronave percorra a menor distância no solo antes de atingir a velocidade de decolagem.



Figura 10 - Localização dos flapes, mais ao centro da asa (avião em procedimento de decolagem ou aproximação para pouso).

Com o auxílio dos flapes, o coeficiente de sustentação máximo obtido pela aplicação é estimado de acordo com a equação (2).

$$C_{Lmáx\text{cf}} = (1 + x) \cdot C_{Lmáx\text{sf}} \quad (2)$$

Onde a variável x representa a fração de aumento na corda do perfil originada pela aplicação dos flapes.

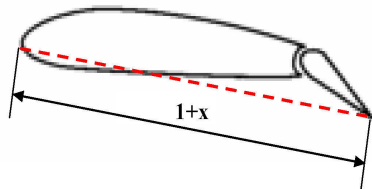
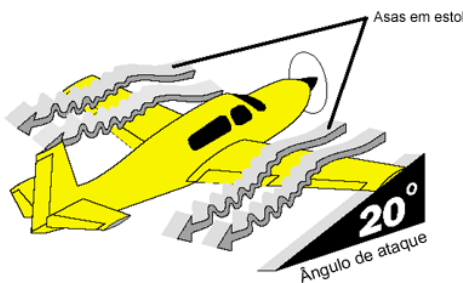


Figura 11 - Aumento da corda do perfil com o uso do flape.

5 – Curiosidade: Como lidar com o estol durante um vôo.

Todas as asas têm um ângulo de ataque crítico como já foi dito e o ângulo varia um pouco entre os aviões. Excedido esse ângulo, a asa e o vento não funcionam bem juntos, pois com o ângulo de ataque crítico a aeronave entrará em condição de estol.



Quando as asas ultrapassam o ângulo de ataque crítico, o fluxo de ar sobre a superfície superior torna-se caótico e começa a criar turbulência, deixando de ser um fluxo de ar suave, de alta velocidade. Conseqüentemente, a força de sustentação diminui.

Figura 12 – Estol em uma aeronave.

Felizmente existe uma solução prontamente disponível. Neste ponto, pode-se tirar uma asa da condição de estol reduzindo

o ângulo de ataque. Para isso, basta baixar o nariz do avião, usando o controle do profundor, porém deve ser vagarosamente pois como o ângulo de ataque é menor que o ângulo crítico, as partículas de ar fluirão suavemente sobre o topo da asa novamente e a produção da força de sustentação será retomada podendo assim o avião continuar a voar.

Um erro grave que se comete entre os pilotos é a tendência natural a puxar ou empurrar o controle do profundor, para alterar a posição de inclinação do avião. Durante um estol, à medida que o avião for se inclinando para baixo, o instinto destreinado do piloto fará com que ele puxe para trás o controle do profundor e o resultado não será bom, pois a asa continuará em estol

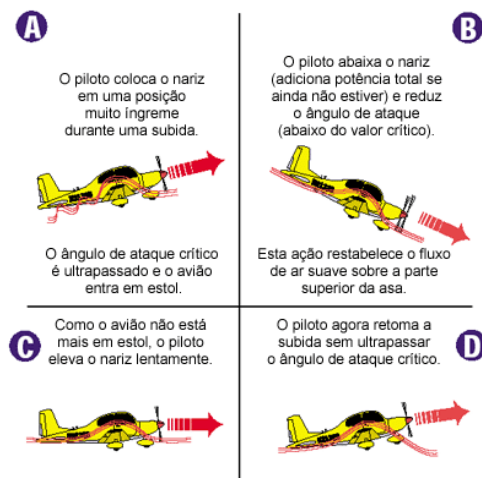


Figura 13 – Recuperação do Estol.

Se as asas entrarem em estol será necessário executar um procedimento muito importante: reduzir o ângulo de ataque abaixo de seu valor crítico. Somente depois disso, a asa começará a voar novamente. Adicionar potência total também ajuda no processo de recuperação através da aceleração do avião. O aumento na velocidade fornecida pela potência também ajuda a reduzir o ângulo de ataque.

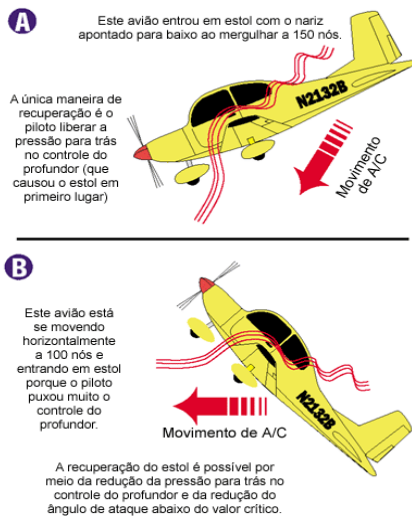


Figura 14 – Exemplo do Estol.

Aviões podem entrar em estol em qualquer posição ou em qualquer velocidade no ar excedendo-se o ângulo de ataque crítico que depende somente da posição do vento relativo e não da velocidade da aeronave no ar ou a posição em que ele se encontra.

A Figura 15 mostra um ensaio para simulação do estol em uma aeronave destinada a participar do AeroDesign.

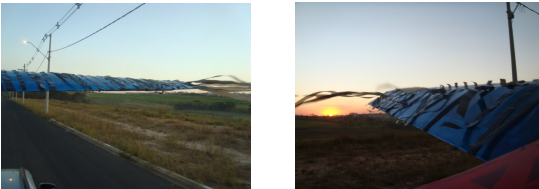


Figura 15 –Estol no AeroDesign.

6 – Conclusões

Este artigo procurou mostrar de forma simples e objetiva as características mais importantes sobre o estol nas aeronaves. Em geral, regras apresentadas podem ser aplicadas para o AeroDesign, inclusive dando maior base de conhecimento sobre tal assunto que é de grande importância para se obter um voo seguro, tanto na aviação comercial, quanto de uma aeronave para a competição do AeroDesign. Espera-se que o conteúdo

agregue melhorias nos projetos com o que foi apresentado, inclusive com as dicas finais de controle da aeronave em estol.

7 – Referências Bibliográficas

- [1] ANDERSON, JOHN, D. *Aircraft performance and design*, McGraw-Hill, New York, 1999.
- [2] ANDERSON, JOHN, D. *Introduction to flight*, McGraw-Hill, New York, 1989.
- [3] RODRIGUES. LEMJ, *Fundamentos de Engenharia Aeronáutica*, Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia de São Paulo, E-Book, São Paulo, 2009.
- [4] ROSKAM. JAN, *Airplane aerodynamics and performance*, DARcorporation, University of Kansas, 1997.