

## Índice

Aeromodelismo	2
Centro de gravidade	2
Ângulo de incidência da asa	3
Proporções gerais	3
Noções de vôo	5
A- Sustentação	6
B- Empuxo	6
C- Peso	7
D- Arrasto	8
Estol	9
Os 3 eixos de controle do avião	10
Eixos e superfícies de comando	10
Superfícies de comando primárias	11
Planador	11
Radio controle	12

Voando Mais Alto - Aeromodelismo

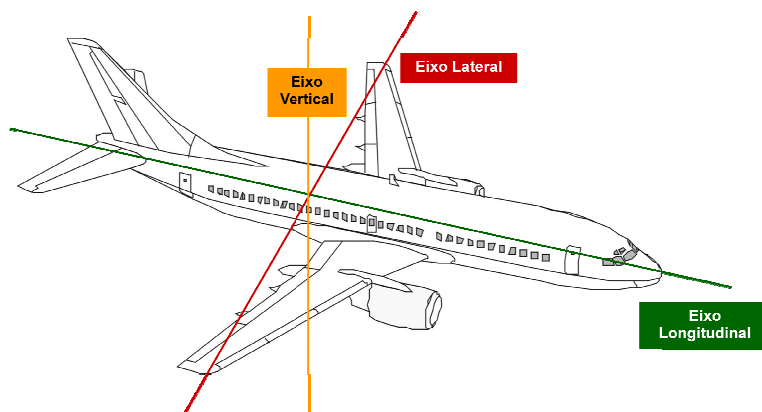
Aeromodelismo é a construção de modelos, em escala reduzida (modelismo), de estruturas aeronáuticas e aeroespaciais (aviões, balões, foguetes etc.). É um tipo de miniaturismo. Existem várias categorias de aeromodelismo:

- VCC - vôo circular controlado, no qual o aeromodelo fica ligado ao aeromodelista por meio de cabos;
- Rádio Controlado - o aeromodelo é controlado por meio de um rádio de controle remoto;
- Vôo livre - o aeromodelo, depois de lançado, não sofre mais nenhuma interferência por parte do aeromodelista. Pode ser aeromodelo com motor, com elástico ou sem propulsão própria.<sup>1</sup>

Aeromodelismo é normalmente considerado um hobby caro, mas isto não é necessariamente verdade. A maioria das pessoas já fez o aeromodelo mais simples e barato que existe: o avião de papel. Mesmo nestes brinquedos aprendendo-se conceitos de aerodinâmica pode-se buscar melhor qualidade e tempo de vôo, existem campeonatos desta modalidade onde os participantes conseguem altitudes, distâncias e tempo de vôo incríveis.

#### Centro de gravidade

O centro de gravidade (CG) é o ponto de equilíbrio do avião. A força da gravidade é exercida de forma uniforme, mas o centro desta força fica no CG. Para manter um vôo estável e controlável cada avião tem uma faixa de posições possíveis para o CG.



<sup>1</sup> <http://pt.wikipedia.org/wiki/Aeromodelismo>

Modelos de treinamento, geralmente têm esta medida localizada no primeiro terço da asa (entre 25% e 35%). Como a sustentação é exercida atrás desta posição, desta forma se o avião perder velocidade tenderá a descer. Se ganhar velocidade, tenderá a subir. Depois de ajustado geralmente um na velocidade de cruzeiro vai voar estável sem subir ou descer, isto permite ao iniciante um vôo mais tranquilo e sem sustos.<sup>2</sup>

#### Ângulo de incidência da asa

Em aviões escala ou treinadores a asa geralmente não fica paralela ao solo. Para gerar sustentação, ela precisa ter o bordo de ataque ligeiramente acima do bordo de fuga.

O ângulo de incidência tem muito a ver com a finalidade do modelo, perfil de asa, carga alar e velocidade de cruzeiro, mas para a maioria dos modelos um ângulo em torno de 2 a 3 graus é o suficiente.

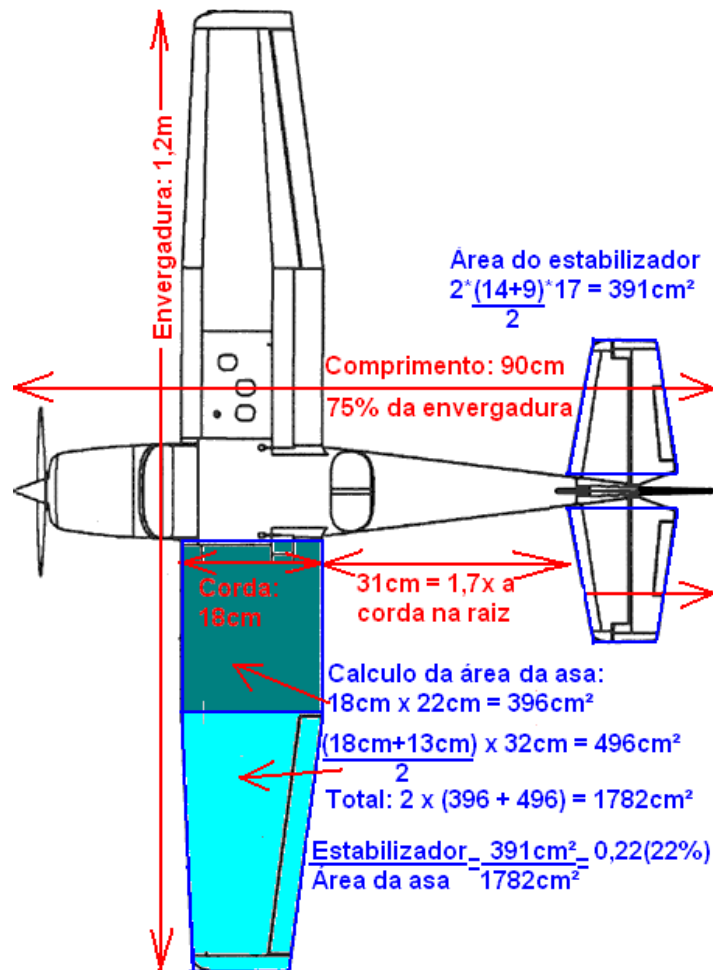
Para um perfil Clark-Y (treinador), uma forma simples de dar uma incidência adequada é alinhar o intradorso (parte de baixo) da asa com o profundor.

Aviões acrobáticos geralmente têm ângulo de incidência zero, portanto voam sempre com o nariz ligeiramente para cima. Isto permite um vôo de dorso mais fácil.

#### Proporções gerais

---

<sup>2</sup> <http://www.e-voo.com/artigos/aviao/>



Para que um avião seja estável e voe bem normalmente ele segue um conjunto de proporções aproximadas. Nem sempre é obrigatório segui-las à risca para que o projeto seja bem-sucedido, mas serve como um guia geral.

Comprimento: o comprimento de um avião normalmente fica entre 70% e 100% da envergadura. Menos do que isto e as asas parecerão exageradamente grandes, mais do que isto geralmente a fuselagem fica pesada demais.

Corda da asa: é possível fazer modelos minúsculos, mas não errar muito na construção do primeiro treinador e não criar algo muito arisco, um bom ponto de partida é que a corda não seja menor do que 15 cm.

Distância entre asa e cauda: Para ser estável e suave nos comandos é sempre bom que a distância entre o bordo de fuga da asa e o bordo de ataque do estabilizador seja de no mínimo 1,5 vezes a corda da asa. Isto ajuda a cauda a exercer sua função de manter a trajetória reta.

Alongamento (proporção entre envergadura e corda): Embora aviões grandes tenham muitas vezes envergadura de 10 vezes a corda (comerciais e leves) ou até 30 vezes a corda (planadores de alto desempenho), para aeromodelos é difícil estruturar uma asa tão longa e estreita. Como regra geral, para treinadores um alongamento em torno de 5 a 7 vai bem (isto é, envergadura de aproximadamente 5 vezes a 7 vezes a corda). Para planadores, pode ser um pouco maior, diminuindo-se a corda próxima às pontas para diminuir o arrasto.

Ao lado está um exemplo de um avião que por tanto em escala cheia quanto como aeromodelo costuma ser um bom treinador, o Cessna 172.

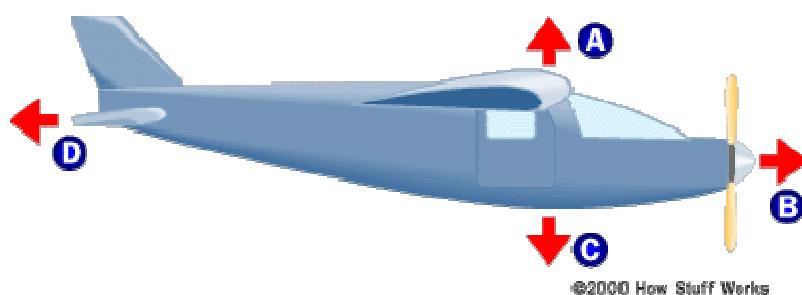
Supondo uma envergadura no modelo de 1,2m, o comprimento fica em 90 cm (75% da envergadura), a corda na raiz é de 18 cm, na ponta é de 13 cm.

A área do estabilizador fica em  $391\text{cm}^2$ , o que dá 22% da área da asa que é de  $1782\text{cm}^2$ , uma boa proporção.

Adicionalmente, a distância entre o bordo de fuga da asa e o bordo de ataque do estabilizador é de generosos 31 cm, o que dá 1,7 vezes a corda na raiz da asa, um ótimo valor.

Para cálculo de carga alar usamos geralmente decímetros quadrados, o que no caso da asa dá  $17,82\text{dm}^2$ . Supondo que o peso final fique em 440g (o que não é difícil de se obter em um modelo deste tamanho), a carga alar ficaria em  $24,7\text{g}/\text{dm}^2$ , o que não chega a ser um slowfly, mas é uma ótima carga alar para um treinador deste tamanho.

Noções de vôo



- A sustentação**   **C peso**  
**B empuxo**   **D arrasto**

### A- Sustentação

Para fazer um avião voar, deve ser gerada uma força para compensar o peso. Esta força é chamada sustentação e é gerada pelo movimento do avião através do ar. A sustentação é uma força aerodinâmica ("aero" significa ar, e "dinâmica" significa movimento). A sustentação é perpendicular (em ângulo reto) à direção do escoamento incidente (vento). O escoamento incidente e o sentido/direção do vôo não são necessariamente os mesmos, sobretudo em manobras. Tal como acontece com o peso, cada parte do avião contribui para uma única força de sustentação, mas a maior parte da sustentação do avião é gerada pelas asas. A sustentação do avião funciona como se atuasse num único ponto, chamado centro de pressão. O centro de pressão é definido tal como o centro de gravidade, mas usando a distribuição da pressão em torno de toda a aeronave, em lugar da distribuição do peso. No centro de pressão atuam somente forças. Além do centro de pressão, outro ponto no aerofólio é de grande importância no projeto de uma aeronave: o centro aerodinâmico. Neste, além das forças, surge um momento chamado Momento de Arfagem. O coeficiente de momento de arfagem não varia quando variamos o ângulo de ataque. O coeficiente de momento é um coeficiente adimensional que qualifica e quantifica se, para certo aerofólio, há um momento picante ou cabrante sobre o engaste da asa. Este momento é fundamental, por exemplo, na determinação das cargas aerodinâmicas para definição da estrutura e para o projeto de sistemas de controle, como o profundor.<sup>3</sup>

### B- Empuxo

Para superar o arrasto, a maioria de aviões tem algum tipo de propulsão para gerar uma força chamada empuxo. A intensidade da força de empuxo depende de muitos fatores associados com o sistema de propulsão:

---

<sup>3</sup> <http://ciencia.hsw.uol.com.br/avioes1.htm>

- O tipo de motor;
- O número de motores;
- O ajuste da aceleração;
- A hélice
- A velocidade.

O sentido da força de empuxo depende de como os motores estão colocados no avião. Na figura mostrada acima, dois motores a jacto estão posicionados sob as asas, paralelos à fuselagem, com a força atuando ao longo da linha central da aeronave. Em alguns aviões (tal como o Harrier) o sentido do impulso pode ser orientado para ajudar o avião a descolar numa distância muito curta. Para os motores de jacto, pode parecer confuso considerar que a pressão do avião é uma reação ao gás quente que se escapa da turbina. O gás quente é expelido pela parte traseira, originando uma força de reação em sentido contrário: o empuxo. Esta ação-reação é explicada pela terceira lei do movimento formulada por Newton.

Os motores mais conhecidos são os motores de explosão (Ciclo Otto) e os motores a jato (Ciclo Brayton). Mas também se utilizam motores elétricos e motores de foguete. Os motores elétricos e de explosão atuam usualmente por intermédio de hélices. Os motores a jacto e de foguete atuam pela força da reação.

Um planador é um tipo especial de avião que não tem nenhum motor. Alguma fonte externa da potência tem que ser aplicada para iniciar o movimento. Os aviões de papel são um exemplo óbvio, mas há muitos outros tipos de planadores. Alguns planadores são pilotados e rebocados para o alto por um outro avião, e a seguir são deixados livres para deslizar em distâncias longas antes de aterrar. Uma vez no alto, a energia cinética é responsável pelo impulso, mas ela para se manter gasta energia potencial. No entanto os planadores recorrem também a uma outra fonte de energia disponibilizada pela natureza: as correntes de ar ascendente que fazem o planador ou avião ganhar energia potencial sem perda de energia cinética e assim se manterem mais tempo no ar sem uso de motores.

C- Peso

Peso é a resultante da massa acrescida a aceleração da gravidade, ou seja, não havendo gravidade não haverá peso, somente Massa.

A força que é sempre dirigida para o centro da terra: trata-se da força da gravidade. A magnitude desta força quando aplicada em uma aeronave, depende de todas as partes do avião, mais a quantidade de combustível, mais toda a carga (pessoas, bagagens, etc.). O peso é gerado por todo o avião. Mas nós podemos simplesmente imaginá-la como se atuasse num único ponto, chamado centro de gravidade. Em vôo, o avião gira sobre o centro de gravidade, e o sentido da força do peso dirige-se sempre para o centro da terra. Durante um vôo, o peso do avião muda constantemente à medida que o avião consome combustível. A distribuição do peso e do centro de gravidade pode também mudar, e por isso o piloto deve constantemente ajustar os controles, ou transferir o combustível entre os depósitos, para manter o avião equilibrado.

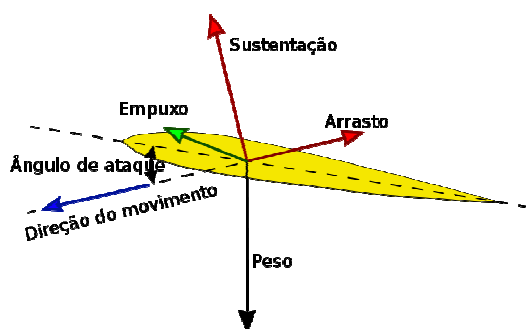
#### D- Arrasto

À medida que o avião se move através do ar, há uma outra força aerodinâmica presente. O ar resiste ao movimento do avião, e esta força de resistência é denominada arrasto (ou atrito). Tal como a sustentação, há muitos fatores que afetam a magnitude da força de arrasto, como a forma do avião, a viscosidade do ar e a velocidade. E tal como acontece com a sustentação, consideram-se usualmente todos os componentes individuais como se estivessem agregados num único valor de arrasto de todo o avião. O sentido da força de arrasto é sempre oposto ao sentido do vôo, e o arrasto atua através do centro de pressão.

Quando um avião aumenta o ângulo de ataque, aumenta também a sustentação; mas há uma geração de gradientes de pressão adversos. À partir de um certo ângulo de ataque, estes gradientes de pressão adversos resultam no descolamento da camada limite, cuja geração de vórtices de von Kármán caracteriza o fenômeno conhecido como estol. No estol, perde-se sustentação, e o arrasto aumenta significativamente. É por este fato que, na fase de decolagem de um aeromodelo, não se deve fazê-lo subir em ângulo muito acentuado. Algumas



aeronaves, principalmente aquelas com projeto de cauda em T, correm o risco de sofrerem "deep stall" (estol profundo), pois a esteira gerada na asa durante o estol cobre o estabilizador horizontal, fazendo-a perder capacidade de controle e impedindo que a aeronave retorne para sua atitude inicial. Por este motivo, além disso, aeronaves acrobáticas devem possuir um projeto de empenagem que garanta a saída do estol e parafuso. Aeronaves com sistemas de controle mais complexos, como os caças e jatos comerciais, em geral possuem sistemas automáticos para proteção de estol, como o "shaker" e o "pusher".



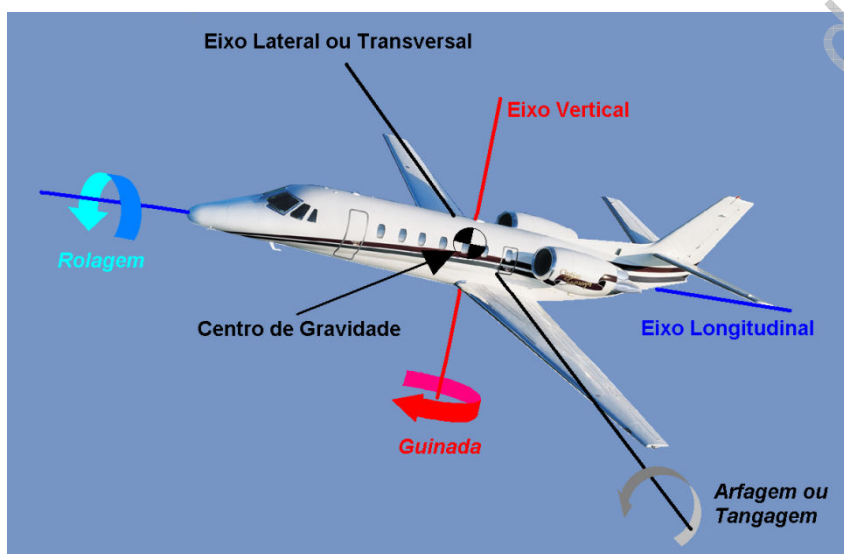
Estol (do inglês *stall*) ou perda de sustentação é um termo utilizado em aviação e aerodinâmica que indica a separação do fluxo de ar do extradorso da asa, resultando em perda total de sustentação. Uma aeronave em situação de *estol* (stall, estolando) não está voando mas sim caindo. Isto acontece porque o ar descola da asa (deixa de passar por cima do extradorso de forma a gerar uma depressão que forme um vector de sustentação). No *estol* o ponto de transição (zona da asa onde o ar descola da asa e forma turbulência) estará sempre na parte anterior do vector de sustentação (lift) que está situado na corda e no centro de pressão. Este vector é 90 graus, perpendicular ao vento relativo e menos 90 graus ao vector de resistência (drag). Indica também a perda de velocidade e, conseqüentemente, de altitude, de um corpo aerodinâmico (ave ou avião), devido à diminuição da força de sustentação.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> <http://pt.wikipedia.org/wiki/Estol>



### Os 3 eixos de controle do Avião

O avião se movimenta através das superfícies de comando primárias em torno de 3 eixos imaginários. Estes três eixos cruzam-se num ponto chamado Centro de Gravidade (CG). Se o CG estiver à frente, atrás, ou para um dos lados, a eficiência dos comandos e dos movimentos ficará reduzida aumentando os riscos do vôo.



### EIXOS E SUPERFÍCIES DE COMANDO

CG - Centro de Gravidade

EIXO	MOVIMENTO	SUPERFÍCIE DE COMANDO	COMANDO
Eixo Longitudinal ou de Rolagem	Rolamento, Bancagem ou Inclinação Lateral	Ailerons <b>NN</b>	Manche p/ dir. Manche p/ esq.
Eixo Lateral ou Transversal	Arfagem, Tangagem, Cabragem (subida) ou Picagem (descida)	Lemes de Profundidade ou Profundores <b>NN</b>	Puxa o Manche (sobe) Empurra o Manche (desce)
Eixo Vertical ou de Guinada	Guinada	Leme de Direção <b>N</b>	Pisa pedal p/ dir. Pisa pedal p/ esq.

### Superfícies de Comando Primárias

Têm a função de movimentar a aeronave em torno dos seus três eixos.

Subdividem-se em três tipos:

**Ailerons:** movimentam a aeronave em torno do eixo longitudinal.

Estão localizados no bordo de fuga, próximo a ponta das asas.

Virando o manche para a direita ou para a esquerda, o avião inclinará para a direita ou para a esquerda.

**Profundores:** movimentam a aeronave em torno do eixo lateral. Estão ligados ao estabilizador horizontal.

Puxando o manche para trás, o avião levanta o nariz e sobe. Empurrando o manche para frente, o avião abaixa o nariz e desce.

**Leme de Direção:** movimenta a aeronave em torno do eixo vertical.

Está ligado ao estabilizador vertical da cauda.

**Planador**

Esse modelo é muito fácil de fazer e utiliza materiais que podem ser encontrados em casa, essa é a idéia, um modelo que voa bem, pois se lançado da forma correta sobe e faz três curvas completas antes de pousar.

**Material para construir:**

Caneta esferográfica

Régua e esquadro

Estilete

Uma folha de Depron de tamanho A4 com 3 ou 4 mm de espessura ou algumas bandejas de frios emendadas com cola quente;

Vareta de bambu ou madeira, dessas de churrasco

Pistola de cola quente para colar

Lixa

Peso para o nariz do modelo

Planta impressa em papel A4

## Instruções

Imprima a planta e junto todo o material para iniciar a construção do modelo, em uma mesa firme e plana com espaço, luminosidade e ventilação adequada.

Mantenha-a sempre limpa! Utilize uma base específica para cortar com o estilete.

Corte as peças conforme a planta pode-se decalcar usando um papel carbono ou cole a planta sobre o Depron utilizando cola pritt e retire o papel depois de cortadas.

Certifique-se que as asas e a cauda estão simétricas e idênticas, lixe para tirar defeitos e arredonde as partes superiores das asas com lixa

Cole as asas e a cauda na vareta seguindo as dimensões da planta.

## Lançamento.

O lançamento correto faz parte do treinamento, segure o modelo com o polegar e o indicador em pinça segurando pelo CG, o braço deve ficar totalmente flexionado, com cotovelo pra baixo e colado ao corpo, mão acima do ombro, com o antebraço bem na vertical e na hora de lançar o modelo somente projete a Mão pra frente terminando o movimento com o braço esticado e bem na horizontal. Se o modelo esta indo pra cima, que o movimento termine com o braço esticado um pouco pra baixo, e vice versa.

Pag.267

## **Rádio Controlado;**

Os comandos da aeronave são transmitidos por ondas de rádio;

**Vantagens:** a liberdade para voo é grande;

**Desvantagens:** a dificuldade de controle dos comandos

**4 partes**

*Aeromodelo,*

*Motor,*

*Rádio e*

*Acessórios*

**Vôo Circular;**

Os comandos da aeronave são transmitidos por cabos presos à aeronave;

**Vantagens:** poucos comandos para se controlar (basicamente picar e cabrar)

**Desvantagens:** limitação de área de vôo;

Voando Mais Alto - Aeromodelismo

# VOANDO MAIS ALTO

*Coordenação: Fábio Augusto Giunti Ribeiro*  
*Elaboração: Thales Sarraf Giunti Ribeiro*  
*Revisão: Yasmim Sarraf Giunti Ribeiro*

Atibaia - SP - Fevereiro / 2011